



UNIVERSIDAD CENTRAL "MARTA ABREU" DE LAS VILLAS
VERITATE SOLA NOBIS IMPONETUR VIRILISTOGA. 1948

Facultad de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Telecomunicaciones y Electrónica



TRABAJO DE DIPLOMA

Implementación de tecnologías RFID con microcontroladores.

Autor: Jesús Alejandro Aguila Córdoba.

Tutor: Dr. Carlos Alberto Bazán Prieto

Santa Clara

2017

"Año del 59 aniversario del triunfo de la Revolución"



Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas

Facultad de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Telecomunicaciones y Electrónica



TRABAJO DE DIPLOMA

Implementación de tecnologías RFID con microcontroladores.

Autor: Jesús Alejandro Águila Córdova.

E-mail: jacordova@uclv.edu.cu

Tutor: Dr. Carlos Alberto Bazán Prieto

Profesor, Dpto. de Electrónica y Telecomunicaciones.

Facultad de Ing. Eléctrica, UCLV.

E-mail: cabazan@uclv.edu.cu

Santa Clara

2017

"Año del 59 aniversario del triunfo de la Revolución"



Hago constar que el presente trabajo de diploma fue realizado en la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas como parte de la culminación de estudios de la especialidad de Ingeniería en Telecomunicaciones y Electrónica, autorizando a que el mismo sea utilizado por la Institución, para los fines que estime conveniente, tanto de forma parcial como total y que además no podrá ser presentado en eventos, ni publicados sin autorización de la Universidad.

Firma del Autor

Los abajo firmantes certificamos que el presente trabajo ha sido realizado según acuerdo de la dirección de nuestro centro y el mismo cumple con los requisitos que debe tener un trabajo de esta envergadura referido a la temática señalada.

Firma del Autor

Firma del Jefe de Departamento
donde se defiende el trabajo

Firma del Responsable de
Información Científico-Técnica

PENSAMIENTO

“Lo que nos hace grandes es el hecho de que podamos ver lo pequeños que somos”

Anónimo

DEDICATORIA

A mí mamá, el regalo con que siempre soñó.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer primeramente a Dios porque sé que sin la ayuda de él este trabajo no se hubiera realizado.

A todas las personas que de alguna manera contribuyeron a mi ingreso a la Universidad, por la particularidad especial de mi matrícula, principalmente a Edildo, Sergio, y Mirian.

Al profesor Roberto Jiménez que se ha comportado como un padre para mí brindarme su ayuda incondicional desde el primer año y siendo parte del elenco de profesores en más de una asignatura.

A todos los profesores que han formado mi educación, especialmente a: Roberto, Elina, Juan Orlando, Ángela, Vitalio, Pedro, Cecilio, Erik, Henry, Carlos, Irina, Alberto, Manuel y a los alumnos ayudantes que se comportaron como verdaderos profesores y que les deseo éxitos en su vida como profesionales, en especial a: Alejandro, Javier, Manuel Alejandro, Adrián, entre otros.

A mi tutor Basan y su camarilla de alumnos ayudantes, cotutores Roberto y Tuan, que me han apoyado en el proceso de desarrollo del Trabajo de Diploma.

A mis padres que me han dado todo su apoyo y han luchado por ver a su hijo graduado.

A mi novia, Yaima que me ha dado apoyo incondicional en todos los aspectos, sobre todo con la confección del Trabajo de Diploma.

Por último a la Revolución cubana, a la cual le debo toda la educación que me ha brindado y mucho de lo que soy como persona.

TAREA TÉCNICA

Analizar referentes teóricos sobre el funcionamiento de las tecnologías RFID.

Desarrollar una aplicación utilizando la tecnología RFID, un display LCD y el Microprocesador 8051.

Evaluar el funcionamiento de la aplicación.

Firma del Autor

Firma del Tutor

RESUMEN

La tecnología de Identificación por radiofrecuencia (RFID) ha alcanzado impactos relevantes a nivel mundial debido a sus disímiles aplicaciones, principalmente en los sectores de cadenas de suministro, transporte, seguridad y control de inventarios, entre otros. Partiendo de las grandes ventajas de su empleo, resulta importante el diseño de dispositivos que permitan comunicarnos con las etiquetas RFID. Por ende, este proyecto se centra en un acercamiento a esta tecnología para desarrollar un ejemplo de aplicación, que tendrá una implementación posterior utilizando el módulo RFID MFRC522, un LCD y kit MDE 8051 programado en C, para lo cual, el presente Trabajo de Diploma se dedica a obtener información sobre la tecnología RFID y sus componentes, así como al estudio de los componentes del hardware que serán usados en la aplicación y las interfaces seleccionadas. Además, contiene el diseño y evaluación de la aplicación, cumpliendo con los resultados esperados tras su implementación. El análisis de los resultados obtenidos permite concluir que la aplicación diseñada con tecnología RFID podría ser utilizada como material de estudio para integrar conocimientos en diferentes asignaturas de la carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones y Electrónica.

TABLA DE CONTENIDOS

PENSAMIENTO..	ii
DEDICATORIA...	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
TAREA TÉCNICA.....	v
RESUMEN.....	vi
TABLA DE CONTENIDOS	vii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1. GENERALIDADES SOBRE LA TECNOLOGÍA RFID.....	5
1.1 Elementos y funcionamiento de los sistemas RFID.....	5
1.2 Criterios para los diferentes tipos de sistemas RFID.	7
1.3 Descripción de los componentes de la tecnología RFID.	9
1.3.1 Etiquetas.	9
1.3.2 Lectores.	14
1.3.3 Middleware.....	22
1.3.4 Sistema de información.	23
1.4 Normas de la tecnología RFID y su importancia.	24
1.4.1 EPC Global.....	25
1.4.2 ISO.	25
1.5 Conclusiones del capítulo.	27
CAPÍTULO 2. ANÁLISIS DE LOS COMPONENTES Y LAS INTERFACES DE LA APLICACIÓN.....	28
2.1 Características y especificaciones eléctricas del módulo RFID-RC522.....	28

2.1.1	Funcionamiento.....	31
2.1.2	Detección automática de interfaz para microcontroladores.	32
2.2	Interfaz de periférico serie (SPI: Serial Peripheral Interface).....	32
2.2.1	Modos de Reloj en el protocolo SPI:	33
2.3	Características del Kit de desarrollo.	35
	Funcionamiento:	38
2.4	Pantalla de cristal líquido (LCD).	39
2.5	Conclusiones del capítulo:	42
CAPÍTULO 3. DISEÑO Y VALIDACIÓN DE LA APLICACIÓN.....		44
3.1	Diseño del hardware.....	44
3.2	Diseño del software.....	45
3.3	Validación de la Aplicación de forma virtual.	48
3.3	Validación de la Aplicación de forma real.....	48
3.5	Conclusiones del capítulo	49
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		50
	Conclusiones	50
	Recomendaciones	50
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		52
Anexos.....		54
	Anexo I: Código de la aplicación.	54

INTRODUCCIÓN

Hace más de un siglo que se emplea el aire como medio de transmisión de ondas electromagnéticas. De entre todas las aplicaciones “sin hilos” que emplean este medio de transmisión, como TV, radio, telefonía móvil, redes de datos, supervisión de procesos industriales, etc., cabe destacar la tecnología RFID¹, cuyas siglas en inglés significan *Radio Frequency Identification* (identificación por radio frecuencia).

El origen de la RFID está relacionado con la II Guerra Mundial, donde se empleaba un mecanismo para descubrir los aviones enemigos, pues el ejército alemán descubrió que, si los pilotos balanceaban sus aviones al volver a la base, cambiaría la señal de radio reflejada de vuelta. Con este método podían distinguir a los aviones alemanes de los aliados, convirtiéndose este método en el principio de funcionamiento del primer dispositivo de RFID pasiva. [1] [2]

Los sistemas de radar y de comunicaciones por radiofrecuencia evolucionaron en las décadas de los 50 y 60, cuando los científicos de los países más desarrollados tecnológicamente trabajaban para explicar cómo identificar objetos remotamente. Inmediatamente las compañías comenzaron a trabajar en sistemas antirrobo, control de acceso, aplicaciones en minas de carbón y en explotaciones petrolíferas, la mayoría de los usos eran con fines militares. [1] [2]

Posteriormente, las primeras patentes para dispositivos RFID fueron solicitadas en Estados Unidos, en 1973, cuando Mario W. Cardullo se presentó con una etiqueta RFID activa que

¹ A lo largo de la investigación se emplearán las siglas RFID para hacer referencia a *Radio Frequency Identification* (identificación por radio frecuencia)

portaba una memoria rescribirle. El mismo año, Charles Walton recibió la patente para un sistema RFID pasivo que abría las puertas sin necesidad de llaves, una tarjeta con un transpondedor comunicaba una señal al lector de la puerta, que, al validar la tarjeta, desbloqueaba la cerradura. El gobierno americano también trabajaba sobre esta tecnología en esta década y montó sistemas parecidos para el manejo de puertas en las centrales nucleares, se abrían al paso de los camiones que portaban materiales para las mismas e iban equipados con un transpondedor. [3]

En la década de los 80 aparecieron nuevas aplicaciones y se implementó de una forma más completa la tecnología RFID. Europa empezó con la identificación por radiofrecuencia del ganado, y Estados Unidos, principalmente, con el control de transporte y control de acceso. [2]

Durante los años 90 esta tecnología alcanzó un amplio desarrollo, aparecieron los primeros estándares y normas para las aplicaciones RFID, y se incrementó su utilización en los peajes y autopistas de Estados Unidos y Europa, mejorando así los controles de acceso y aplicaciones a nivel comercial. En 1991, Texas Instruments desarrolló un sistema RFID moderno, y a partir de este modelo se empezaron a desarrollar nuevas aplicaciones. [2]

En el año 2000, debido a la reducción de costos en las diferentes etiquetas, se empezaron a sustituir los códigos de barras por esta nueva tecnología. En el 2002 se mejoró las prestaciones de la tecnología RFID al usar NFC (*Near Field Communication*), que consiste en un único dispositivo emisor/receptor y tiene la posibilidad de insertarse en un equipo móvil. [1] En enero del 2005 la RFID obtuvo un impulso significativo cuando Wal-Mart requirió que sus 100 principales proveedores integraran etiquetas de RFID en sus contenedores de productos. España lanzó un proyecto para controlar la trazabilidad de la correspondencia a lo largo de todo el proceso postal. [4] [2]

Actualmente se ha perfeccionado esta tecnología y han disminuido sus costos de implementación. Las etiquetas son más chicas, cuentan con mayor capacidad de almacenamiento, poseen antenas más eficientes y potentes; lo que lleva a pensar que se utilizarán en una gran variedad de sectores, utilizando la capacidad de RFID para transportar datos capturados de forma inalámbrica. Este desarrollo se manifiesta en la aparición de nuevas patentes y publicaciones en este campo, que han contribuido a extender su uso desde

ámbitos domésticos hasta de seguridad nacional, como es el caso del pasaporte expedido en la actualidad por los Estados Unidos, que lleva asociadas etiquetas RFID.

Partiendo de las grandes ventajas que tiene el uso de la tecnología RFID, es de suma importancia el diseño de dispositivos que permitan comunicarnos de manera más eficiente con las etiquetas, el diseño de programas de control y sus interfaces en las diferentes aplicaciones, ya que la misma promete estar presente en el futuro. Por ende, este proyecto se centra en un acercamiento a esta tecnología para desarrollar un ejemplo de aplicación, que tendrá una implementación posterior utilizando un módulo lector RFID MFRC522, un LCD YJ-162A y Microprocesador basado en el 8051 programado en C.

Con esta investigación se pretende cumplir los siguientes objetivos:

Objetivo general:

- Desarrollar una aplicación con el módulo RFID RC522, un LCD y un Microprocesador 8051.

Objetivos específicos:

1. Fundamentar los referentes teóricos relacionados con el funcionamiento de las tecnologías RFID y el hardware de la aplicación.
2. Diseñar una aplicación con el módulo MFRC522, un LCD y el kit de desarrollo MDE 8051.
3. Diseñar un programa en C que recibe y procesa los datos adquiridos por dispositivos RFID.
4. Evaluar el funcionamiento de la aplicación diseñada.

Para dar cumplimiento a los objetivos presentados se plantearon las siguientes interrogantes científicas:

- ¿Cómo funciona la tecnología RFID, los LCD y el kit de desarrollo MDE 8051?
- ¿Cómo diseñar una aplicación con el módulo MFRC522, un LCD y el Microprocesador 8051?
- ¿Cómo diseñar un programa que permita controlar la aplicación?

- ¿Cómo evaluar el funcionamiento de la aplicación?

El proyecto terminado se utilizará como material de estudio para integrar conocimientos en diferentes asignaturas de la carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones y Electrónica. Asimismo, se pretende contribuir, de manera práctica, a la motivación por la creación de aplicaciones relacionadas con esta tecnología en los estudiantes, profesores y aficionados.

Organización del Informe

La investigación incluye tres capítulos, además de las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos. Los temas que se abordan en cada capítulo se encuentran estructurados de la forma siguiente:

Capítulo I: Se dedicará a obtener información sobre la tecnología RFID y sus componentes.

Capítulo II: Se dedica al estudio de los componentes del hardware que serán usados en la aplicación, así como las interfaces seleccionadas.

Capítulo III: Se dedicará al diseño y evaluación de la aplicación.

CAPÍTULO 1. GENERALIDADES SOBRE LA TECNOLOGÍA RFID.

La tecnología RFID ha alcanzado impactos relevantes a nivel mundial debido a sus disímiles aplicaciones, principalmente en los sectores de cadenas de suministro, transporte, seguridad y control de inventarios, entre otros. Esta es una tecnología de bajos precios, inalámbrica, de larga durabilidad y reutilización. [1]

1.1 Elementos y funcionamiento de los sistemas RFID.

RFID es una tecnología de captura e identificación automática de datos cuya información se almacena de forma electrónica en etiquetas o transpondedores (transmisor, receptor). Cuando estas etiquetas entran en el área de cobertura de un lector, aprovechan la energía que éste emite para transmitir la información almacenada en su memoria. La recuperación de dicha información se realiza sin necesidad de contacto físico o visual entre el dispositivo lector y las etiquetas por medio de radiofrecuencia.

Los sistemas RFID están compuestos por cinco elementos, como muestra la figura 1.1:

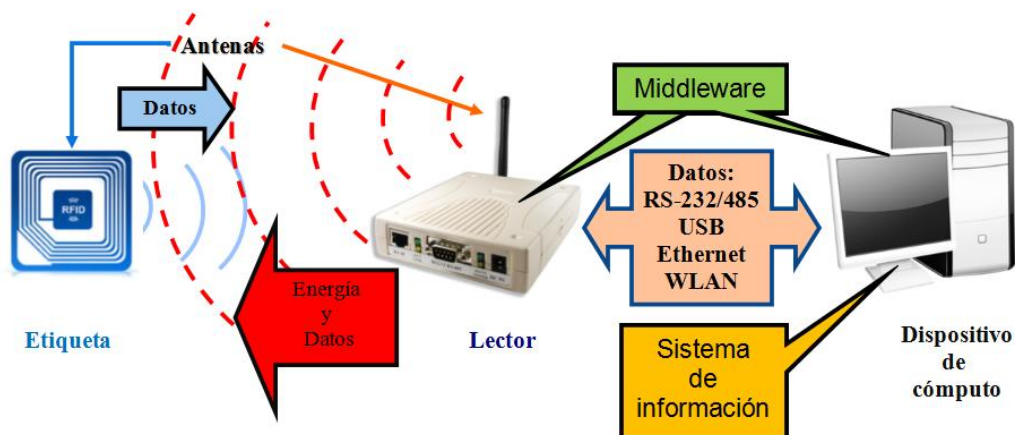


Figura1.1. Elementos de un sistema RFID.

La etiqueta RFID: se le conoce como transpondedor (*Tag* o *transponder*). Es la que contiene guardada la información, permitiendo colocarla en cualquier tipo de objeto, o puede estar dentro de este. Está formada por un Circuito Integrado IC (*Integrated Circuit*), que se encarga de almacenar los datos, una pequeña antena que permite la comunicación por radiofrecuencia, y un elemento almacenador de energía (capacitor o batería).

El lector o interrogador: es el elemento encargado de transmitir la energía suficiente con el fin de alimentar la etiqueta RFID para que envíe los datos contenidos en ella y se puedan leer. Dichos lectores están constituidos por un módulo de RF(Radiofrecuencia), una fuente de alimentación y un módulo de control, el cual está equipado con interfaces de comunicación que permiten enviar la información que reciben a una PC (*Personal Computer*) u otro dispositivo, que pueda procesar los datos obtenidos para interactuar con los transpondedores. Algunos lectores llevan integrado un programador que añade a su capacidad de lectura la habilidad para escribir información en las etiquetas.

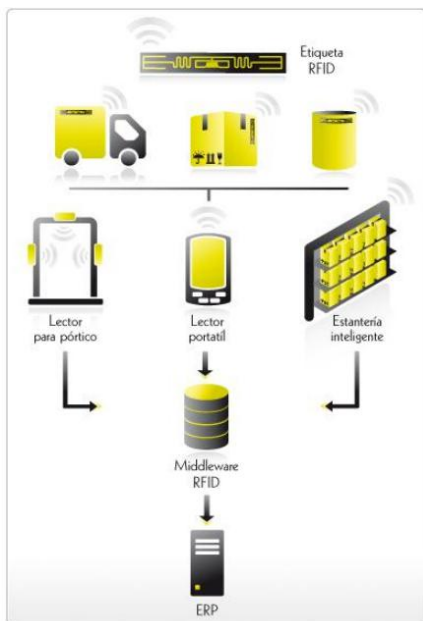
Dispositivo de cómputo (comúnmente una computadora), *host*, PLC (*Programmable Logic Controller*) o controlador. Es donde se desarrolla la aplicación RFID. Recibe la información de uno o varios lectores a través de sus respectivas interfaces y el middleware como intermediario, para después comunicarlo al sistema de información. También es capaz de transmitir órdenes al lector por las mismas interfaces.

El middleware: es un software controlador diseñado en este caso para la tecnología RFID. Proporciona un enlace entre aplicaciones independientes y transfiere los datos entre ellas (Figura 1.1 y 1.2). Funciona como un sistema de gestión que recoge los datos y los procesa, creando una correcta utilización de los hardware y software que forman parte de las aplicaciones que se quieren relacionar.

El sistema de información: es cualquier sistema computacional que se utilice para obtener, almacenar, manipular, administrar, controlar, procesar, transmitir o recibir datos, para satisfacer una necesidad de información. Viene siendo el ERP Planificación de Recursos Empresariales (*Enterprise Resource Planning*) en la Figura 2. [1] [4] [5] [6]

Existe una gran diversidad de sistemas RFID que pueden ser utilizados en un amplio rango de aplicaciones como los que se muestra en la Figura 1.2 (sistema: de lector para pórtico, de lector portátil y de estantería inteligente) etc. Sin embargo, los aspectos tecnológicos (tipo de

etiqueta y lectores) pueden variar, aunque todos se basan en el mismo principio de funcionamiento:



1. Se equipa a todos los objetos a identificar, controlar o seguir, con una etiqueta RFID.
2. La antena del lector o interrogador emite un campo de radiofrecuencia que activa las etiquetas.
3. Cuando una etiqueta ingresa en dicho campo, utiliza la energía y la referencia temporal recibidas para realizar la transmisión de los datos almacenados en su memoria.
4. El lector recibe los datos y los reenvía al ordenador de control para su procesamiento dentro del sistema de información.

Figura1.2: Diferentes sistemas RFID en una red local.

Como se observa en las Figuras 1.1 y 1.2, existen dos interfaces de comunicación:

- Interfaz Lector - Sistema de Información: La conexión se realiza a través de un enlace local de comunicaciones estándar, como el RS 232, RS 485, USB, Ethernet, WLAN, etc. el cual usa el middleware para el envío y recepción de datos.
- Interfaz Lector – Tag : Se trata de un enlace de radio con sus propias características de frecuencia y protocolos de comunicación. [1] [2] [7] [3] [8]

1.2 Criterios para los diferentes tipos de sistemas RFID.

Los sistemas RFID pueden dividirse en diversos tipos de acuerdo a distintos criterios:

▪ Según la alimentación del Tag:

- Pasivos: no necesitan una batería interna para funcionar
- Semipasivos: son una variante de los pasivos, tienen una batería interna, pero necesitan que el lector los alimente para transmitir los datos
- Activos: tienen una batería interna para enviar la información y su alcance es mayor que los anteriores.

▪ Según el rango de frecuencia de la interfaz Lector – Tag:

- Baja frecuencia (LF low frequency): el rango va hasta 300 KHz, a nivel de tags, las frecuencias son inferiores a los 135 KHz.
- Alta frecuencia (HF high frequency): 3-30 MHz, usualmente en la frecuencia de 13,56 MHz.
- Ultra alta frecuencia (UHF ultra high frequency): 300 MHz-3 GHz, los más usados son a 433 MHz (activos), a 865 MHz, y a 956 MHz entre otros.
- Frecuencias de microondas: se usan de 2.45 GHz y de 5.8 GHz.

▪ Según la programación:

- Sólo lectura: los tags son programados en origen, y no pueden ser reprogramados.
- Escritura y varias lecturas: los tags se pueden reprogramar una única vez.
- Escritura/lectura: se pueden leer y reprogramar en varias oportunidades.

▪ Según el principio de propagación de la señal:

- Inductivos: mediante el campo magnético, que es creado por el lector, se alimenta el tag. Esto opera en el campo cercano ($0.6(D^3/\lambda)^{1/2} \leq d \leq 2D^2/\lambda$), en LF y HF. [9]

Nota: $d \rightarrow$ distancia del campo y $D \rightarrow$ es la máxima dimensión lineal de la antena.

- Propagación por ondas electromagnéticas: por medio de estas se alimentan las etiquetas. Funciona en el campo lejano ($d \geq 2D^2/\lambda$), en UHF y en la banda de microondas. [9]

▪ Según el tipo de comunicación que usan:

- Dúplex(DX): el tag envía la información en cuanto recibe la señal del lector.
- Half dúplex(HDX): cuando se alterna el envío de información entre el lector y el tag.
- Full dúplex(FDX): cuando la comunicación es simultánea.
- Secuencial(SEQ): se apaga el lector y el tag envía la información, por lo general este sistema se usa con los tags activos, debido a que no puede aprovechar toda la potencia que le envía el lector y requiere una fuente adicional (en este caso la batería) para transmitir. [2] [8]

1.3 Descripción de los componentes de la tecnología RFID.

Todo sistema RFID se compone básicamente del transpondedor, lector o interrogador y un sistema de información en un dispositivo de computo controlado por un Middleware.

1.3.1 Etiquetas.

El transpondedor es el dispositivo que se encuentra en el interior de una etiqueta y contiene información asociada al objeto que acompaña, transmitiéndola cuando el lector la solicita.

Una etiqueta RFID (ver la Figura 1.3 c) consta de tres elementos fundamentales:

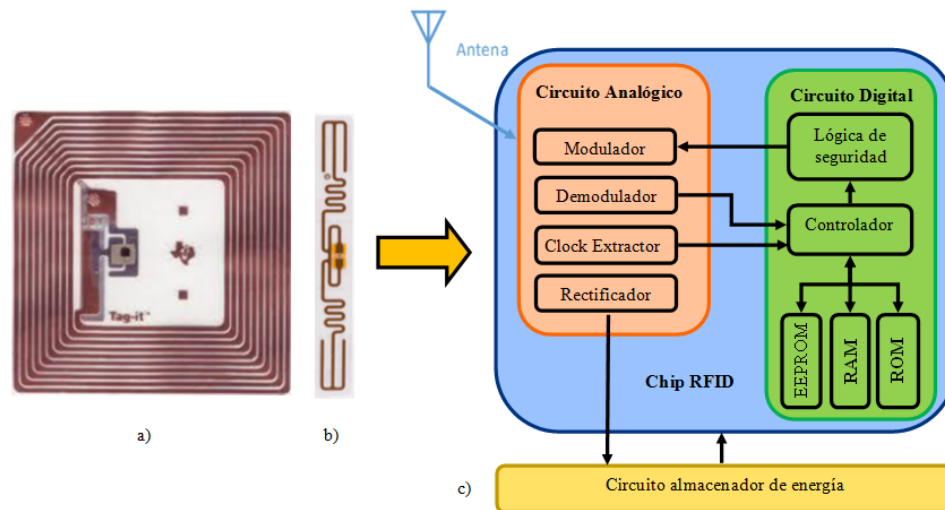


Figura 1.3 a) Tag con antena circular para baja frecuencia, b) Tag con antena de dipolo para UHF y c) Elementos fundamentales de un Tag.

La antena: permite realizar la comunicación entre la etiqueta y el lector. Su tamaño limita la distancia máxima de lectura. Esta puede ser de dos tipos: un dipolo (Figura 1.3 b)) o un elemento inductivo (una bobina, (Figura 1.3 a)), por lo tanto, puede enviar y recibir información por medio de la propagación de ondas electromagnéticas o por acoplamiento inductivo. Estas dos formas dependen si se trabaja en el campo lejano o en el campo cercano respectivamente.

El circuito integrado: es un circuito mixto analógico-digital. La parte analógica se encarga de controlar la alimentación y la comunicación por radiofrecuencia en donde se modulan los datos para ser enviados. Dependiendo del modelo y protocolo, se usa la modulación ASK, FSK o PSK. Por lo general la ASK es la más usada, debido a que es más fácil para realizar

menor coste. Debido a esto, éstas son las etiquetas más usadas, aplicándose en campos tan diversos como la identificación de animales, llaves de contacto de automóviles, identificación de productos en cadenas de montaje, control de accesos, cronometraje de carreras, etc.

En los **semipasivos** se usa una batería incorporada, pero ésta solamente sirve para alimentar el chip de forma constante para que la propiedad de procesamiento de la información sea rápida y aumentar las características de la señal recibida, no para generar la señal de emisión. Como la batería sólo está dedicada al microchip, tienen una vida útil de 5 a 7 años más con respecto a las activas. Son las menos difundidas en el mercado.

Además, algunas etiquetas más sofisticadas pueden incluir circuitos adicionales con funciones de entrada/salida, tales como registros de temperatura, tiempo u otros estados físicos que pueden ser monitorizados mediante sensores apropiados (de temperatura, humedad, etc.).

Obviamente, los componentes mencionados han de protegerse del ambiente exterior, por lo que, en función de la aplicación, habrá de elegirse el encapsulado adecuado. El más sencillo es el que se ha mostrado en la Figura 1.3 a) y b) consistente en una lámina de plástico. No obstante, los fabricantes ofrecen innumerables encapsulados, incluso a medida del cliente. Por ejemplo, existen etiquetas en formato de tarjeta de crédito para control de accesos, encapsuladas en una ampolla de vidrio para identificar animales, etiquetas en forma de clavo para pales, encapsulados resistentes a altas temperaturas para etiquetar equipos que tengan que soportar condiciones adversas, etc. [3] [7] [8]

Velocidad de Lectura de Datos y Alcance.

La velocidad de lectura de los datos depende principalmente de la frecuencia portadora (ver tabla 1.1). En términos generales, cuanto más alta sea dicha frecuencia, más alta será la velocidad de transferencia y alcance. En general, una frecuencia menor significa un alcance de lectura menor, menor transferencia de datos, pero mayor capacidad para realizar lecturas cerca o sobre superficies metálicas o líquidas que pueda producir interferencias [10].

A la hora de establecer tiempos de lectura debe considerarse: el tamaño de los datos que porta la etiqueta, la velocidad con que las etiquetas se mueven dentro de la zona de lectura, y el número de etiquetas que el interrogador debe detectar, ya que cuando varios tags intentan

transmitir sus datos a un mismo lector, el tiempo de lectura se multiplica por el número de tags. Para etiquetas que poseen una alta capacidad de almacenamiento de datos, cuando se trata de leer toda la información almacenada en una, los tiempos de lectura serán, en consecuencia, elevados. En este sentido, la opción que poseen algunas etiquetas para realizar lecturas selectivas por bloques o por sectores puede ser muy beneficiosa para reducir considerablemente el tiempo de lectura. [6]

Tabla 1.1: Tipos de RFID según su frecuencia de funcionamiento.

	Frecuencia	Alcance	Velocidad de transferencia de datos
Baja frecuencia (LF)	30-300KHz	0.1 - 1.5m	1-10KB/s
Alta frecuencia (HF)	3-30MHz	0.1 - 0.7m	1-3KB/s
Muy alta frecuencia (VHF)	30-300MHz	1-3m	1-20KB/s
Ultra alta frecuencia (UHF)	300-3000MHz	1-30m	1KB-10MB/s
Súper alta frecuencia (SHF)	3-30 GHz	1-100m	1KB-10+MB/s

Tipo y capacidad de los datos almacenados

Básicamente, las etiquetas pueden usarse con el fin de transportar:

- Un identificador. El tag almacena una cadena numérica o alfanumérica que puede representar:
 - Una identidad. Tanto para identificar un artículo de fabricación o un producto en tránsito como para proporcionar una identidad a un objeto, un animal, o un individuo.
 - Una clave de acceso a otra información que se encuentra almacenada en un ordenador o sistema de información.
- Ficheros de Datos (PDF, Portable Data Files). Permiten el almacenamiento de información organizada, sin perjuicio de que adicionalmente exista un enlace a información adicional contenida en otro sitio. Su función puede ser:
 - Transmitir la información.
 - Iniciar/lanzar acciones.
 - En términos de capacidades de datos, es posible conseguir tags que satisfagan necesidades desde un único bit hasta varios kilobits. La función que desempeñen dependerá de esta capacidad. [1]

1.3.2 Lectores.

Un lector o interrogador es el dispositivo que, por un lado, proporciona energía a las etiquetas, lee los datos que éstas le transmiten y los reenvía al sistema de información, y por otro, gestiona la comunicación.

El lector puede actuar de tres modos:

- Interrogando su zona de cobertura continuamente, si se espera la presencia de múltiples etiquetas, pasando de forma continua.
- Interrogando periódicamente, para detectar nuevas presencias de etiquetas.
- Interrogando de forma puntual, por ejemplo, cuando un sensor detecte la presencia de una nueva etiqueta.

Los componentes del lector se muestran en la figura 1.6 b):

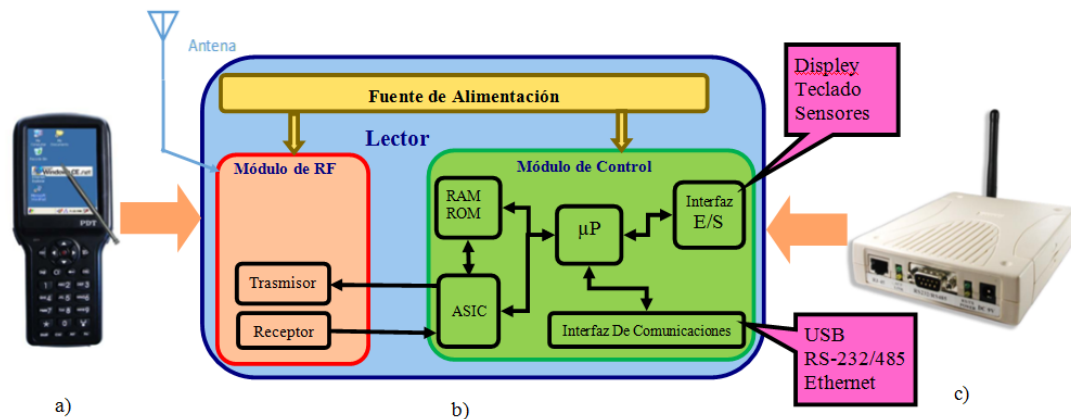


Figura 1.6 a) Lector móvil, b) Componentes de un lector y c) Lector fijo.

La **antena** del lector es el elemento que habilita la comunicación entre el lector y el transpondedor. Esta antena va conectada directamente al transmisor y al receptor. Existen lectores con múltiples puertos para antenas, lo que les permite tener múltiples antenas y extender su cobertura. Las antenas están disponibles en una gran variedad de formas y tamaños. Su diseño puede llegar a ser crítico, dependiendo del tipo de aplicación para la que se desarrolle. Este diseño puede variar desde pequeños dispositivos de mano hasta grandes antenas independientes. Por ejemplo, las antenas pueden montarse en el marco de puertas de acceso para controlar el personal que pasa, o sobre una cabina de peaje para monitorizar el tráfico que circula.

La mayor parte de las antenas se engloban en alguna de las siguientes categorías:

- Antenas de puerta (uso ortogonal).
- Antenas polarizadas circularmente.
- Antenas polarizadas linealmente.
- Antenas omnidireccionales.
- Antenas de varilla.
- Dipolos o múltiplos.
- Antenas adaptativas o de arreglos (arrays).

El elemento más característico de la antena del lector es la frecuencia de operación a la que trabaja el sistema. Sin embargo, existen otra serie de parámetros físicos que es necesario considerar: impedancia, máxima potencia permitida, ganancia, patrón de polarización (polarización X-Y o circular). Estos son los elementos clave que crean el campo de radiofrecuencia, pero a su vez, están influidos por otros parámetros como son la eficiencia de la antena o el tipo de acoplamiento con la antena de la etiqueta. En general, las posibilidades que brinda el tipo de antena, su conexión al lector y su ubicación son innumerables. Cabe destacar que algunos lectores (principalmente aquellos que trabajan en el campo cercano, como los lectores de mano), incorporan la antena integrada en el lector, lo que reduce enormemente esta flexibilidad.

El principal aspecto a considerar a la hora de elegir una antena es el área de cobertura requerido para la aplicación, de modo que sea lo suficientemente grande para detectar las etiquetas, pero lo suficientemente pequeño para evitar lecturas espurias no válidas que pueden afectar y confundir al sistema. Otro aspecto que puede afectar a la cobertura es la orientación de la antena del lector con respecto a la etiqueta, que influye sobre la cantidad de potencia transferida al tag, afectando en ocasiones de forma significativa a la lectura. A pesar de que las etiquetas pueden leerse en todas las orientaciones, en general, el campo generado por la antena del lector tiene una dirección determinada. Este hecho influye especialmente en HF y UHF, pudiendo reducirse la cobertura al 50% o incluso imposibilitando la lectura de la etiqueta. Por ello, resulta conveniente buscar el acoplamiento óptimo entre ambas antenas,

y si la orientación de la etiqueta no puede controlarse, se debe buscar una compensación mediante un adecuado diseño de la antena.

Todos estos aspectos se deben tener en cuenta antes de adquirir el lector, ya que, en general, todas las antenas RFID se presentan como productos finales, por lo que es necesario analizar previamente sus características. Sin embargo, la mayoría son sintonizables, de modo que puedan ajustarse a la frecuencia de operación seleccionada para el sistema. Esto las hace susceptibles a multitud de factores externos, como son:

- Variaciones de la RF.
- Pérdidas por la proximidad de metales.
- Variaciones del entorno.
- Efectos armónicos.
- Interferencias con otras fuentes de RF.
- Reflexiones de la señal.
- Diafonía (cross-talk).

El problema de desintonización de la antena como consecuencia del efecto de estos factores puede corregirse mediante la introducción de circuitos dinámicos autosintonizadores, que realimentan continuamente la antena para que ésta esté siempre bien sintonizada.

El módulo de radiofrecuencia, que consta básicamente de un transmisor que genera la señal de radiofrecuencia y un receptor que recoge los datos enviados por las etiquetas. Las diferencias fundamentales en el tipo de acoplamiento (inductivo – electromagnético), la secuencia de comunicación (DX, HDX, FDX, SEQ), el método de transmisión de datos del transpondedor para el lector (la modulación de carga, la retrodispersión, los subarmónicos) y, no menos importante, el rango de frecuencia, hace que los diseños de este módulo varíen.

Sus funciones por tanto son:

- Generar la señal de radiofrecuencia para activar el transpondedor y proporcionarle energía.
- Modular la transmisión de la señal para enviar los datos al transpondedor.

- Recibir y demodular las señales enviadas por el transpondedor.

En la Figura 1.7,1.8,1.9 se muestran algunos ejemplos de interfaces para diferentes sistemas RFID:

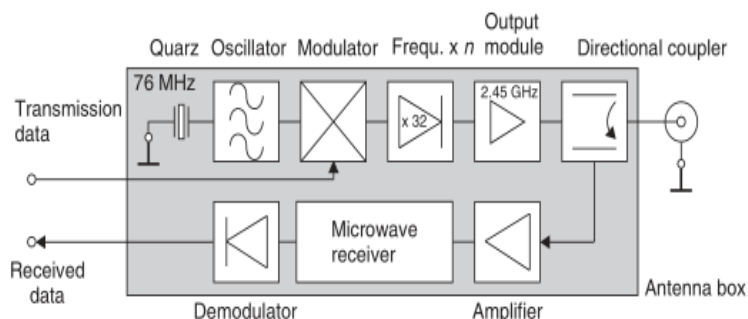


Figura 1.7: Diagrama de interfaz RF para un acoplamiento inductivo RFID.

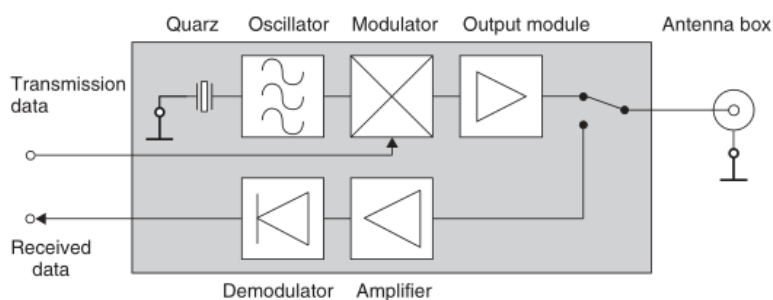


Figura 1.8: Diagrama de interfaz de RF para sistema de microondas.

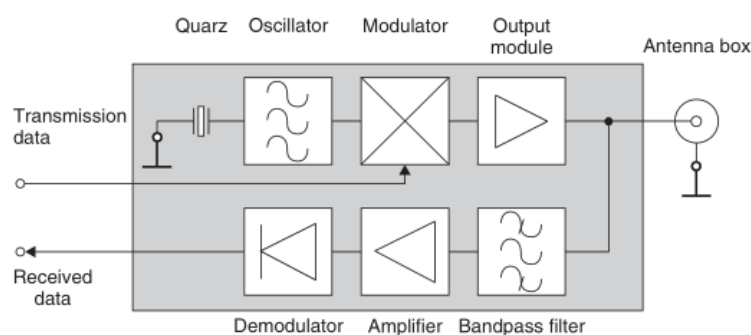


Figura 1.9: RF interface para un Sistema secuencial.

El módulo de control, está constituido básicamente por un microprocesador, memorias, canales de entrada/salida e interfaces de comunicación. En ocasiones, para aliviar al microprocesador de determinados cálculos, el módulo de control incorpora un circuito integrado ASIC (*Application Specific Integrated Circuit*), adaptado a los requerimientos deseados para la aplicación.

El módulo de control se encarga de realizar las siguientes funciones:

- Codificar y decodificar los datos procedentes de los transpondedores.
- Verificar la integridad de los datos y almacenarlos.
- Gestionar el acceso al medio: activar las etiquetas, inicializar la sesión, autenticar y autorizar la transmisión, detectar y corregir errores, gestionar el proceso de multilectura (anticolisión), cifrar y descifrar los datos, etc.
- Comunicarse con el sistema de información, ejecutando las órdenes recibidas y transmitiéndole la información obtenida de las etiquetas.

Una de las funciones más críticas que debe realizar es gestionar el acceso al medio. Cuando se transmite información mediante una tecnología que no requiere contacto físico, existe la posibilidad de que aparezcan interferencias que provoquen cambios indeseados a los datos transmitidos y, en consecuencia, errores durante la transmisión. Para evitar este problema se utilizan procedimientos de comprobación (uno de ellos es *checksum*). Los más comunes son la comprobación de bits de paridad, comprobación de redundancia longitudinal (*LRC*, *Longitudinal Redundancy Check*) y comprobación de redundancia cíclica (*CRC*, *Cyclic Redundancy Check*).

- **Microprocesador**

Este componente es responsable de implementar el protocolo de lectura empleado para comunicarse con tags compatibles. Decodifica y realiza verificación de errores a las señales recibidas. Adicionalmente, puede contener cierta lógica para realizar filtrado y procesamiento de bajo nivel de los datos leídos, esto es, eliminar lecturas duplicadas o erróneas.

- **Memoria**

La memoria es utilizada para almacenar información como los parámetros de configuración del lector, además de una lista de las últimas lecturas realizadas, de modo tal que, si se pierde la comunicación con la PC, no se pierdan todos los datos.

▪ **Canales de entrada/salida**

Estos canales permiten al lector interactuar con sensores y actuadores externos. Estrictamente hablando, es un componente opcional, pero incluido en la mayoría de los lectores comerciales de la actualidad.

▪ **Interfaz de comunicación**

Esta interfaz provee las instrucciones de comunicación, que permiten la interacción con entidades externas, mediante el controlador, para transferir datos y recibir comandos. Un lector puede tener distintos tipos de interfaz, por ejemplo: RS-232, RS-485, interfaz de red, entre otras.

Fuente de Alimentación

Provee de alimentación eléctrica a los componentes del lector y regularmente consiste en un cable con un adaptador de voltaje, conectado hacia la toma de corriente. Pero en los últimos años se ha incrementado el número de lectores de tipo pistola, los cuales son móviles y su fuente de alimentación es una batería recargable.

Los lectores pueden variar su complejidad considerablemente dependiendo del tipo de transpondedor que tengan que alimentar y de las funciones que deban desarrollar. Una posible clasificación los divide en fijos (Figura 1.6 a)) o móviles (Figura 1.6c)) dependiendo de la aplicación que se considere.

- Los dispositivos fijos se posicionan en lugares estratégicos como puertas de acceso, lugares de paso o puntos críticos dentro de una cadena de ensamblaje, de modo que puedan monitorizar las etiquetas de la aplicación en cuestión.
- Los lectores móviles suelen ser dispositivos de mano. Incorporan una pantalla LCD, un teclado para introducir datos y una antena integrada dentro de una unidad portátil. Por esta razón, su radio de cobertura suele ser menor.

Los principales parámetros que caracterizan un lector RFID son:

- Frecuencia de operación. El lector puede funcionar a bajas frecuencias, altas frecuencias, ultra altas frecuencias y frecuencias de microondas. Ya existen en el mercado lectores multifrecuencia. El número de etiquetas que un lector puede identificar en un instante de

tiempo depende de la frecuencia de trabajo y del protocolo utilizado. Por ejemplo, en la banda de altas frecuencias suele ser de 50 tags por segundo, mientras que en la banda de ultra altas frecuencias puede alcanzar las 200 tags por segundo.

- Sensibilidad. Deberá detectar señales de hasta -60 dBm de potencia, ya que es lo mínimo que una etiqueta RFID puede proporcionar.
- Tipo de regulación que siguen. Por ejemplo, existen distintas regulaciones de frecuencia y de potencia en Estados Unidos y en Europa:
 - La banda de UHF funciona a 902–930 MHz en Estados Unidos y a 869 MHz en Europa.
 - La máxima potencia permitida es de 2 Watts en Estados Unidos y 0,5 Watts en Europa.
- Selectividad. Selecciona la señal de la etiqueta RFID, dentro de un vasto espectro de señales que son recibidas, unas más potentes que otras, ya que las frecuencias RFID trabajan cerca de las frecuencias de telefonía y puede existir interferencia.
- Alcance dinámico. Detecta señales procedentes de varias etiquetas RFID que estén a distancias diferentes.
- Protocolo de funcionamiento. Muchas compañías ofrecen soporte multiprotocolo (ISO, propietarios...), pero no admiten todos los protocolos existentes.
- Interfaz con el sistema host o protocolo:
 - TCP/IP.
 - WLAN.
 - Ethernet (10 BaseT).
 - Serie: RS 232, RS 485.
- Capacidad para multiplexar muchos lectores:
 - A través de concentradores.
 - A través de middleware.
- Capacidad para actualizar el software del lector on-line:

- Vía Internet.
- Vía interfaz con el host.
- Capacidad para gestionar múltiples antenas, típicamente 4 antenas/lector.
- Capacidad para interactuar con otros productos de middleware.
- Entrada/salida digital para conectar otros dispositivos tales como sensores externos o circuitos de control adicionales. [1] [4] [7]

Programadores

Los programadores son los dispositivos que permiten escribir información sobre la etiqueta RFID. La programación se realiza una vez sobre las etiquetas de sólo lectura o varias veces si las etiquetas son de lectura/escritura. Es un proceso que generalmente se lleva a cabo “fuera de línea”, es decir, antes de que el producto entre en las distintas fases de fabricación.

El radio de cobertura al que un programador puede operar es generalmente menor que el rango propio de un lector, ya que la potencia necesaria para escribir es mayor. En ocasiones puede ser necesario distancias próximas al contacto directo.

El diseño de los programadores permite una escritura sobre un Tag a la vez, o sea, no se puede escribir en varias Tag al mismo tiempo. Esto puede resultar engorroso cuando se requiere escribir la misma información en múltiples etiquetas. Sin embargo, nuevos desarrollos de programadores vienen a satisfacer la necesidad de realizar la programación de múltiples etiquetas.

Existen sistemas en los que la reprogramación puede desarrollarse “en línea”, es decir, permaneciendo la etiqueta sobre el artículo cuya información o identificación porta. Esto resulta especialmente interesante si se trata de un objeto o artículo, que va cambiando dentro de un proceso de producción. De este modo, los datos pueden irse modificando según el artículo vaya pasando por las distintas etapas de producción, de lo contrario reduciría en gran medida las ventajas de flexibilidad inherentes a la tecnología RFID. La combinación de las funciones de un lector/interrogador con las de un programador permite recuperar y modificar los datos que porta el transpondedor en cualquier momento, sin comprometer la línea de producción.

Un tipo especial de programador es la impresora RFID. Existen impresoras con capacidad de lectura/escritura, que permiten programar las etiquetas a la vez que se imprime con tinta de información visible. Antes de realizar la escritura de la etiqueta deben introducirse los datos deseados en la impresora. Una vez escritos, un lector a la salida comprueba la fiabilidad de los datos. Evidentemente este tipo de programación debe realizarse sobre etiquetas especiales hechas de materiales flexibles, y que permiten la impresión en su exterior. Algunos sistemas comerciales con este tipo de etiquetas son fabricados por Zebra y Printronix. [1]

1.3.3 Middleware.

Del mismo modo que un PC necesita controladores (drivers o software de controladores) a parte del sistema operativo, los sistemas RFID hardware serían inútiles sin un software que les permita funcionar, en este caso se le llama middleware.

Se ocupa, entre otras cosas, del encaminamiento de los datos entre los lectores, las etiquetas y los sistemas de información, y es el responsable de la calidad y uso de las aplicaciones basadas en RFID.

Las cuatro funciones principales del middleware de RFID son:

- Adquisición de datos. El middleware es responsable de la extracción, agrupación y filtrado de los datos procedentes de múltiples lectores RFID en un sistema complejo.

Sin la existencia del middleware, los sistemas de información de las empresas se colapsarían con rapidez. Por ejemplo, se ha estimado que cuando Walmart empezó a utilizar RFID, generaba del orden de 2 TByte de datos por segundo.

- Encaminamiento de los datos. El middleware facilita la integración de las redes de elementos y sistemas RFID de la aplicación. Para ello dirige los datos al sistema apropiado dentro de la aplicación.
- Gestión de procesos. El middleware se puede utilizar para disparar eventos en función de las reglas de la organización empresarial donde opera, por ejemplo, envíos no autorizados, bajadas o pérdidas de stock, etc.
- Gestión de dispositivos. El middleware se ocupa también de monitorizar y coordinar los lectores RFID, así como de verificar su estado y operatividad, y posibilita su gestión remota.

Mucho de los middlewares desarrollados o en desarrollo se ajustan a los estándares de EPCglobal, conocidos como Savant. La especificación Savant ordena los componentes del middleware de acuerdo a sus funciones.

En la actualidad, el desarrollo del middleware dista de ser algo acabado. Los sistemas actuales se centran sobre todo en la integración y la coordinación, con funciones de filtrado básicas. La evolución será hacia la gestión avanzada de dispositivos, integración de aplicaciones, gestión de procesos y posibilidad de desarrollo de aplicaciones.

Debido al reciente interés que ha surgido en el middleware, han aparecido gran cantidad de suministradores, aunque no se puede decir que en la actualidad exista alguno que sea dominante. Algunos de los actores en el mercado en este momento son:

- Proveedores de software de aplicación empresarial, que ofrecen adiciones RFID a las aplicaciones de software empresarial existentes. Como ejemplo destacamos Provia, Maniatan Associates y RedPrairie.
- Proveedores de software de infraestructura, como Sun, IBM, Oracle, SAP, y Microsoft, que están ampliando sus productos middleware existentes para incluir RFID.
- Los fabricantes de equipamiento RFID extienden sus líneas de producto y se introducen en el mercado del middleware. Como ejemplos tenemos Zebra, Check Point e Internec.
- Empresas recién llegadas a este ámbito, como GlobeRanger, OutSystems, ConnecTerra y Data Brokers, ofrecen productos para filtrado de datos, gestión y aplicación de reglas de negocio empresarial. [1]

1.3.4 Sistema de información.

De manera similar a los códigos de barras estándar, las etiquetas RFID son simplemente un modo automatizado para proporcionar datos de entrada al sistema cliente. Sin embargo, las etiquetas RFID son capaces de proporcionar también una salida automatizada del sistema hacia la etiqueta, permitiendo la actualización dinámica de los datos que ésta porta.

El sistema de información se comunica con el lector según el principio maestro- esclavo. Esto quiere decir que todas las actividades realizadas por lector y transpondedores son iniciadas por la aplicación software. Cuando el lector recibe una orden de esta aplicación,

establece una comunicación con los transpondedores, comunicación en la que, a su vez, el lector ejerce de maestro y los tags de esclavos.

El principal objetivo de la aplicación software es gestionar y tratar los datos recibidos por el lector. El sistema debe ser lo suficientemente robusto para poder manejar las múltiples lecturas que permiten realizar los sistemas RFID, coordinar tiempos y flujos de información, gestionar los distintos eventos, soportar las realimentaciones de los usuarios, introducir las actualizaciones del sistema cuando sea requerido e integrarlo con otros sistemas de información de la empresa. En todos los casos el sistema cliente necesitará modificaciones software para integrar los datos proporcionados por el lector y el programador. Sin la posibilidad de acceder a todas estas funcionalidades, el sistema RFID perderá en eficacia y no proporcionará el deseado retorno de la inversión.

Algunos de los sistemas de información de la empresa con los que se puede integrar un sistema RFID son: el sistema de planificación de recursos ERP (*Enterprise Resource Planning*), el sistema de gestión de almacenes WMS, (*Warehouse Management System*), el sistema de albaranes y comprobantes de entrega POD (*Proof Of Delivery*) o el sistema de comprobantes de recogida POC (*Proof Of Collection*). [2]

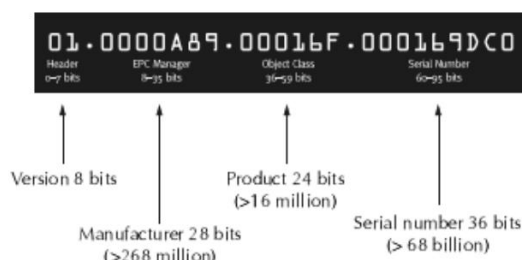
1.4 Normas de la tecnología RFID y su importancia.

Los estándares técnicos permiten la coexistencia e interoperabilidad entre los diferentes dispositivos y tecnologías. Las normas y protocolos de RFID constituyen un factor importante para determinar el alcance de la implementación de RFID y su impacto. Se utilizan para definir el sistema que mejor se adapte y que pueda funcionar mejor. Pueden incluir especificaciones físicas del hardware, de la etiqueta, del lector, interfaz de aire, formatos de datos entre otras [7].

Existen diversas organizaciones que se encargan de la confección de normas de la tecnología RFID. Las dos principales son la ISO (*International Organization for Standardization*) y la EPCglobal (*Electronic Product Code*). [9]

1.4.1 EPC Global.

Es una organización de empresas específicamente orientada a desarrollar estándares globales para un Código Electrónico de Producto, tiene el objetivo de normalizar la información contenida en las etiquetas RFID.



Fuente: EPCGlobal

Figura 1.10: Formato del código EPC Global.

En la Tabla 1.2 se resumen los diferentes protocolos que especifica EPC junto con el tipo de etiquetas y rango de frecuencias que lleva asociadas.

Tabla 1.2 Protocolos EPC Global para RFID.

Protocolo	Frecuencia	Tipo de etiqueta
Clase 0	UHF	Sólo lectura
Clase 0	Plus UHF	Lectura-escritura
Clase 1	HF/UHF	Una escritura múltiples lecturas
Clase 1 Gen2	UHF	Una escritura múltiples lecturas
Clase 2	UHF	Lectura y escritura
Clase 3	UHF	Clase 2 más batería y sensores
Clase 4	UHF	Etiquetas activas
Clase 5	UHF	Clase 4 + capacidad de lectura

Cabe destacar que estas especificaciones se refieren al nivel físico (interfaz radio que permita leer la información en cualquier lugar del mundo) y de codificación (Código Electrónico del Producto unívoco). Aún está bajo desarrollo el interfaz de servicios de información, EPC-IS (*EPC Information Services*), que permitirá la automatización de las cadenas de suministro de las empresas [7] [10].

1.4.2 ISO.

ISO ha desarrollado **normas** con protocolos que soportan selectivamente la lectura y escritura de datos, junto con las reglas de codificación para las normas sobre interferencia aérea [7] [9] [10]. Estas se dividen en las siguientes categorías:

- Normas de protocolo de transmisión aérea, que define las reglas por las cuales la comunicación entre el lector y tag se realiza.
- Normas que proporcionan información de cómo aplicar la tecnología.
- Los datos y las normas del sistema de protocolos que forman el middleware de un sistema RFID.
- Las normas de identificación, que tienen que ver con la codificación única de los identificadores o de los datos del tag RFID.
- Pruebas, cumplimiento de normas de seguridad y la salud, que regulan las operaciones de RFID.

Algunos estándares:

- ISO 14443: Identification Cards-Contactless integrated circuit(s) Cards-Proximity cards:
 - Part 1: Physical characteristics.
 - Part 2: Radio frequency power and signal interface.
 - Part 3: Initialization & anticollision.
 - Part 4: Transmission protocols.
- ISO 15693: Identification cards –Contactless integrated circuit cards– Vicinity cards.
 - Part 1: Physical characteristics.
 - Part 2: Air interface and initialization.
 - Part 3: Anticollision and transmission protocol.
 - Part 4: Extended command set and security features.
- ISO 15961: Information Technology-AIDC Techniques-RFID for Item Management-Host-Interrogator-Tag Functional Commands and Other Syntax Features.
- ISO 15962: Information Technology-AIDC Techniques-RFID for Item Management-Data Syntax.

- ISO 15963: Information Technology- AIDC Techniques –RFID for Item Management– Unique Identification of RF Tag and Registration Authority to Manage the Uniqueness.
- ISO 18000: Information Technology-Automatic Identification-RFID for Item Management-Communications and Interfaces.
- ISO 18092: Information technology.
–Telecommunications and information exchange between systems–Near Field Communication-Interface and Protocol (NFCIP-1).

A modo de ejemplo:

- Los tags Mifare² cumplen con la norma ISO 14443 para su funcionamiento a nivel mundial a la frecuencia de 13,56 MHz.
- Los tags Wiegand utilizan las normas ISO 11784/85 para su funcionamiento en la frecuencia de 125 KHz.

1.5 Conclusiones del capítulo.

En este capítulo se analizaron los elementos y funcionamiento de la RFID. La cual es una tecnología de captura e identificación automática de datos cuya información se almacena de forma electrónica en etiquetas o transpondedores. Sus sistemas están compuestos por cinco elementos: la etiqueta RFID, el lector o interrogador, dispositivo de cómputo, el middleware y el sistema de información. En la investigación también se expusieron criterios para elegir los diferentes sistemas RFID de acuerdo con las necesidades de la aplicación a emplear por cualquier usuario o contratista y las normas a emplear para la compatibilidad del equipamiento en el mercado. Estos sistemas pueden dividirse según: la alimentación del Tag, el rango de frecuencia de la interfaz Lector – Tag, la programación, el principio de propagación de la señal o el tipo de comunicación que usan.

² Mifare, Wiegand son tecnologías de tarjetas inteligentes sin contacto, de las más ampliamente instaladas en el mundo.

CAPÍTULO 2. ANÁLISIS DE LOS COMPONENTES Y LAS INTERFACES DE LA APLICACION

En este capítulo se analizan los componentes e interfaces que constituyen parte de la aplicación para lograr una correcta utilización en la siguiente etapa de implementación, siendo estos el módulo lector RC522 que se conecta a través de una interfaz SPI con el Kit de desarrollo basado en 8051(MDE 8051Trainer Board) y una pantalla LCD de 2 filas por 16 columnas (YJ-162A) también conectada al mencionado Kit.

2.1 Características y especificaciones eléctricas del módulo RFID-RC522.

El RFID-RC522 es un módulo de lectura/escritura encapsulado en un IC para la comunicación inalámbrica, utiliza un sistema avanzado de modulación, demodulación y detección de errores (chequeo de paridad y CRC o prueba de redundancia cíclica) para transpondedores pasivos de 13.56Mhz. Este IC trabaja con la norma ISO/IEC 14443 A/MIFARE y NTAG. [10]

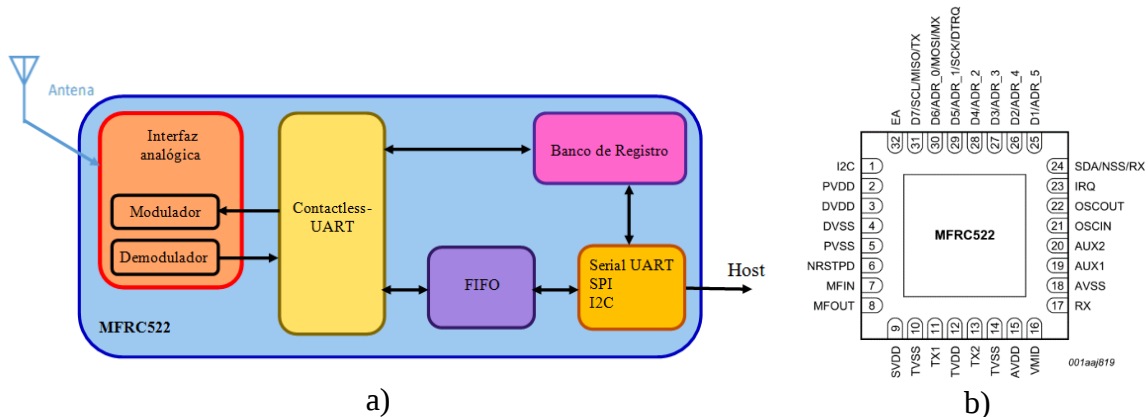


Figura 2.1: a) Diagrama en bloques del módulo RFID-RC522 y b) Configuración de los pines del MFRC522 con encapsulado (SOT617-1).

Posee las siguientes interfaces:

- Interfaz de periférico serie (SPI) Serial Peripheral Interface.
- Serial UART (similar a RS232 con el nivel de voltaje dependiente del pin de suministro de voltaje).
- Interfaz de buz I2C.

En la Tabla 2.1 se muestran los valores típicos de voltaje y en la 2.2 la descripción de los pines [10]:

Tabla 2.1: Valores típicos de voltaje, corriente y temperatura.

Símbolo	Parámetros	Condiciones		Min	Típi	Max	Unid
V_{DDA}	analog supply voltage	$V_{DD(PVDD)} \leq V_{DDA} = V_{DDD} = V_{DD(TVDD)}$; $V_{SSA} = V_{SSD} = V_{SS(PVSS)} = V_{SS(TVSS)} = 0\text{ V}$	(1)(2)	2.5	3.3	3.6	V
V_{DDD}	digital supply voltage			2.5	3.3	3.6	V
$V_{DD(TVDD)}$	TVDD supply voltage			2.5	3.3	3.6	V
$V_{DD(PVDD)}$	PVDD supply voltage		(3)	1.6	1.8	3.6	V
$V_{DD(SVDD)}$	SVDD supply voltage	$V_{SSA} = V_{SSD} = V_{SS(PVSS)} = V_{SS(TVSS)} = 0\text{ V}$		1.6	-	3.6	V
I_{pd}	power-down current	$V_{DDA} = V_{DDD} = V_{DD(TVDD)} = V_{DD(PVDD)} = 3\text{ V}$					
		hard power-down; pin NRSTPD set LOW	(4)	-	-	5	μA
		soft power-down; RF level detector on	(4)	-	-	10	μA
I_{DDD}	digital supply current	pin DVDD; $V_{DDD} = 3\text{ V}$		-	6.5	9	mA
I_{DDA}	analog supply current	pin AVDD; $V_{DDA} = 3\text{ V}$, CommandReg register's RcvOff bit = 0		-	7	10	mA
		pin AVDD; receiver switched off; $V_{DDA} = 3\text{ V}$, CommandReg register's RcvOff bit = 1		-	3	5	mA
$I_{DD(PVDD)}$	PVDD supply current	pin PVDD	(5)	-	-	40	mA
$I_{DD(TVDD)}$	TVDD supply current	pin TVDD; continuous wave	(6)(7)(8)	-	60	100	mA
T_{amb}	Temperatura Ambiente	HVQFN32		-25	-	+85	$^{\circ}\text{C}$

(1) La fuente de voltajes por debajo de 3v reduce el desempeño, por ejemplo, la distancia de funcionamiento factible.

(2) V_{DDA} , V_{DDD} and $V_{DD(TVDD)}$ deben ser siempre el mismo voltaje.

(3) $V_{DD(PVDD)}$ debe ser el mismo o más bajo que V_{DDD} .

(4) I_{pd} es la corriente total para todas las fuentes.

(5) $I_{DD(PVDD)}$ depende de la carga completa a los pines digitales.

(6) $I_{DD(TVDD)}$ depende de $V_{DD(TVDD)}$ y los circuitos externos conectados a los pines TX1 y TX2.

(7) Durante una operación típica del circuito, toda la corriente está por debajo de 100 mA.

(8) El valor típico usando una configuración de conexión complementaria y una antena acoplada para 40W entre los pines TX1 y TX2 a 13.56 MHz.

Tabla 2.2. Descripción de los pines.

Pin	Símbolo	Tipo	Descripción
1	I2C	I	I ² C-bus enable input
2	PVDD	P	pin power supply
3	DVDD	P	digital power supply
4	DVSS	G	digital ground
5	PVSS	G	pin power supply ground
6	NRSTPD	I	reset and power-down input: power-down: enabled when LOW; internal current sinks are switched off, the oscillator is inhibited and the input pins are disconnected from the outside world reset: enabled by a positive edge
7	MFIN	I	MIFARE signal input
8	MFOUT	O	MIFARE signal output
9	SVDD	P	MFIN and MFOUT pin power supply
10	TVSS	G	transmitter output stage 1 ground
11	TX1	O	transmitter 1 modulated 13.56 MHz energy carrier output
12	TVDD	P	transmitter power supply: supplies the output stage of transmitters 1 and 2
13	TX2	O	transmitter 2 modulated 13.56 MHz energy carrier output
14	TVSS	G	transmitter output stage 2 ground
15	AVDD	P	analog power supply
16	VMID	P	internal reference voltage
17	RX	I	RF signal input
18	AVSS	G	analog ground
19	AUX1	O	auxiliary outputs for test purposes
20	AUX2	O	auxiliary outputs for test purposes
21	OSCIN	I	crystal oscillator inverting amplifier input; also the input for an externally generated clock, (fclk = 27.12 MHz).
22	OSCOU	O	crystal oscillator inverting amplifier output
23	IRQ	O	interrupt request output: indicates an interrupt event
24	SDA	I/O	I ² C-bus serial data line input/output
	NSS	I	SPI signal input
	RX	I	UART address input
25	D1	I/O	test port
	ADR_5	I/O	I ² C-bus address 5 input
26	D2	I/O	test port
	ADR_4	I	I ² C-bus address 4 input
27	D3	I/O	test port
	ADR_3	I	I ² C-bus address 3 input
28	D4	I/O	test port
	ADR_2	I	I ² C-bus address 2 input
29	D5	I/O	test port
	ADR_1	I	I ² C-bus address 1 input
	SCK	I	SPI serial clock input
	DTRQ	O	UART request to send output to microcontroller
30	D6	I/O	test port
	ADR_0	I	I ² C-bus address 0 input
	MOSI	I/O	SPI master out, slave in
	MX	O	UART output to microcontroller
31	D7	I/O	test port
	SCL	I/O	I ² C-bus clock input/output
	MISO	I/O	SPI master in, slave out
	TX	O	UART data output to microcontroller
32	EA	I	external address input for coding I ² C-bus address

2.1.1 Funcionamiento.

El esquema general del funcionamiento de una aplicación que usa el módulo RC522 es mostrado en la figura 2.2, dicho modulo soporta el modo de Lectura/Escritura para ISO CEI 14443 A/MIFARE, estas tramas se describen en la Figura 2.4, su nivel físico se muestra en la Figura 2.3 el cual usa varias velocidades de transferencia y los protocolos de modulación descritos en la Tabla 2.3 [10].

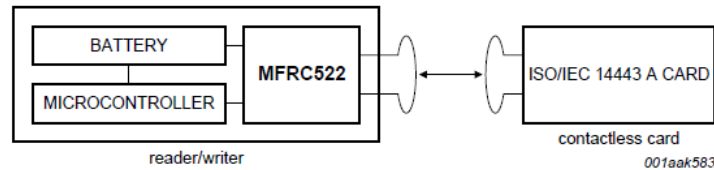
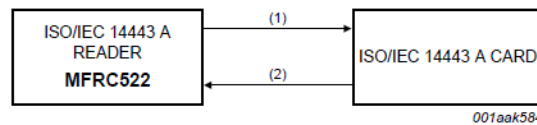


Figura 2.2: Esquema general de una aplicación con el módulo MFRC522.



(1) Reader to card 100 % ASK, Miller encoded, transfer speed 106 kBd to 848 kBd.

(2) Card to reader subcarrier load modulation, Manchester encoded or BPSK, transfer speed 106 kBd to 848 kBd.

Figura 2.3: Nivel o capa física del módulo MFRC522.

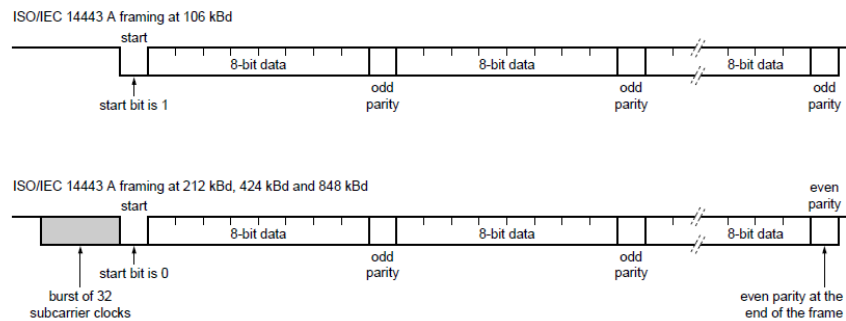


Figura 2.4: Tramas de acuerdo con ISO CEI 14443 A/MIFARE.

Tabla 2.3. Procedimiento de la comunicación para lectura /escritura con ISO CEI 14443 A/MIFARE.

Dirección de comunicación	Tipo de señal	Velocidad de transferencia			
		106 kBd	212 kBd	424 kBd	848 kBd
Lector a Tag (transfiere datos desde MFRC522 al Tag)	reader side modulation	100 % ASK	100 % ASK	100 % ASK	100 % ASK
	Codificación de bit	Codificación de Miller modificada	Codificación de Miller modificada	Codificación de Miller modificada	Codificación de Miller modificada
	Longitud de bit	128 (13.56 μ s)	64 (13.56 μ s)	32 (13.56 μ s)	16 (13.56 μ s)
Tag a Lector (MFRC522 recibe datos desde el Tag)	card side modulation	subcarrier load modulation	subcarrier load modulation	subcarrier load modulation	subcarrier load modulation
	Frecuencia de subportadora	13.56 MHz / 16	13.56 MHz / 16	13.56 MHz / 16	13.56 MHz / 16
	Codificación de bit	Codificación Manchester	BPSK	BPSK	BPSK

2.1.2 Detección automática de interfaz para microcontroladores.

El MFRC522 está directamente relacionado con la interfaz que emplea el host, el cual puede ser SPI, I²C o serial UART. El MFRC522 comprueba el tipo de interfaz actual que presenta el host automáticamente, luego resetea y restablece su enlace según el tipo. El MFRC522 identifica la interfaz del host considerando los niveles lógicos en los pines de control después de la fase de reseteo. Esto se hace usando una combinación fija de pines para los diferentes tipos. En la tabla 2.4 se muestran las posibles combinaciones [10]:

Tabla 2.4. Protocolos de conexión para la detección de diferentes tipos de interfaces.

Pin	Tipo de interfaz		
	UART (input)	SPI (output)	I ² C-bus (I/O)
SDA	RX	NSS	SDA
I2C	0	0	1
EA	0	1	EA
D7	TX	MISO	SCL
D6	MX	MOSI	ADR_0
D5	DTRQ	SCK	ADR_1
D4	-	-	ADR_2
D3	-	-	ADR_3
D2	-	-	ADR_4
D1	-	-	ADR_5

El protocolo SPI es el escogido para la comunicación entre el RC522 y el kit de desarrollo por lo cual se describirá su funcionamiento ampliamente a continuación.

2.2 Interfaz de periférico serie (SPI: Serial Peripheral Interface).

Una Interfaz SPI es muchas veces elegido por su sencillez para conectar casi cualquier dispositivo que acepte bits en serie controlado por una señal de reloj. Se puede utilizar para comunicación entre dos o más microcontroladores, el principal llamado Maestro, que controla a uno o varios Esclavos (Figura 2.5) [11] [10].

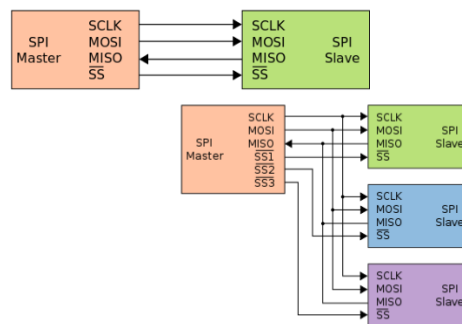


Figura 2.5: Funcionamiento del protocolo SPI.

Según la figura 2.5, funciona como un protocolo síncrono maestro/esclavo basado en cuatro líneas:

Serial Clock (SCLK)

- Pulsos de reloj.
- Permiten sincronizar la transmisión de datos.
- Son generados por el dispositivo maestro.

Master In Slave Out (MISO)

- Es la línea que utilizan los esclavos para enviarle datos al maestro.

Master Out Slave In (MOSI)

- Es la línea que utiliza el maestro para enviar datos a los esclavos.

Slave Select (SS)

- Se utiliza para habilitar al periférico esclavo con el que se realizará la comunicación.
- El modelo requiere una línea por cada esclavo controlado por el maestro.
- Para habilitar a un esclavo específico, debe colocarse un “0” lógico en el pin.

Descripción del protocolo

- El dispositivo maestro inicia la comunicación habilitando al esclavo.
- Por cada pulso de reloj, se envía y recibe un bit. (Modo full duplex)
- Después de 8 pulsos, la transmisión de 1 byte está terminada.

2.2.1 Modos de Reloj en el protocolo SPI:

Toda la transferencia de los datos, es sincronizada por la línea de reloj de este bus. Un bit es transferido por cada ciclo de reloj. La mayoría de las interfaces SPI tienen 2 bits de configuración, llamados CPOL (Clock Polarity o Polaridad de Reloj) y CPHA (Clock Phase o Reloj de Fase) [12].

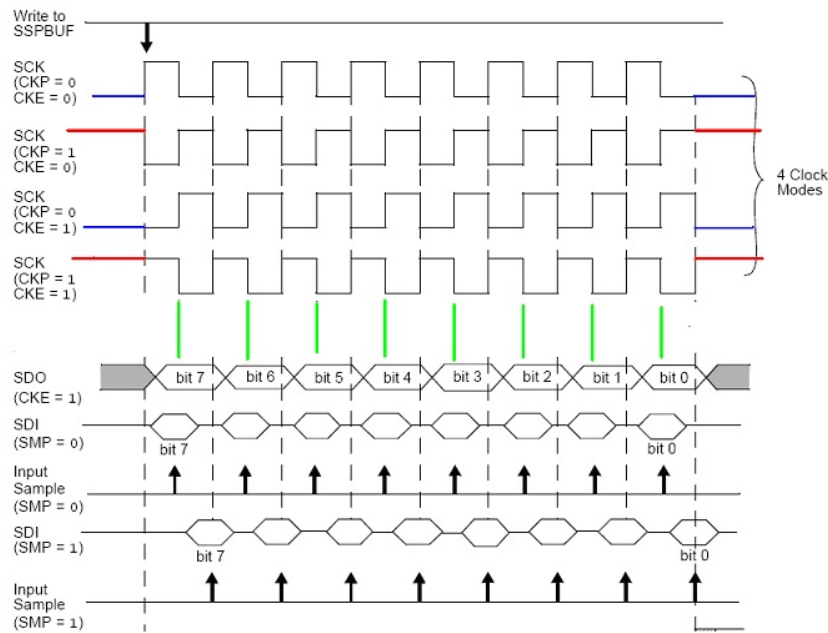
- **CPOL:** La polaridad indica si el reloj permanece en nivel alto(CPOL=1) o bajo (CPOL=0).

- **CPHA:** La fase indica el flanco de la señal de reloj que se utiliza para el envío o recepción de cada bit.

Cada bit tiene dos estados que permiten cuatro diferentes combinaciones, las cuales son incompatibles una de la otra. Por lo que, si dos dispositivos SPI desean comunicarse entre sí, estos deben tener la misma Polaridad de Reloj (CPOL) y la misma Fase de Reloj (CPHA). Los cuatro modos de reloj definidos por el protocolo SPI se muestran en la tabla 2.5 y se exponen en la Figura 2.6:

Tabla 2.5: Modos SPI.

Modo	CPOL	CPHA
1	0	0
2	0	1
3	1	0
4	1	1



CPOL=CKP y CPHA=CKE

SDO: la posición de los datos de salida.

SDI: la posición de los datos a la entrada.

SMP=0 los bits de entrada están alineados con el centro del periodo de reloj

SMP=1 los bits de entrada están disponibles al final del periodo de reloj.

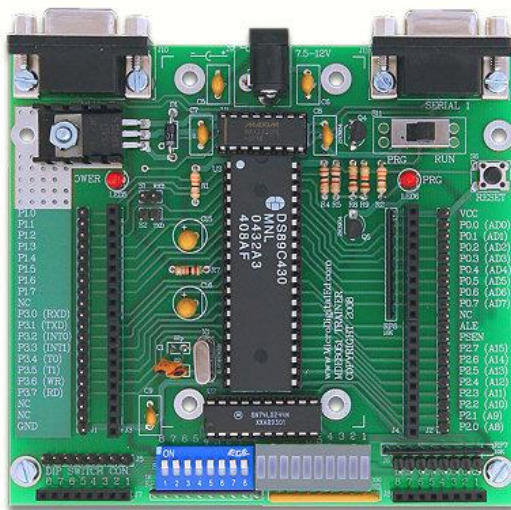
Figura 2.6: Tramas de datos según los Modos de Reloj.

2.3 Características del Kit de desarrollo.

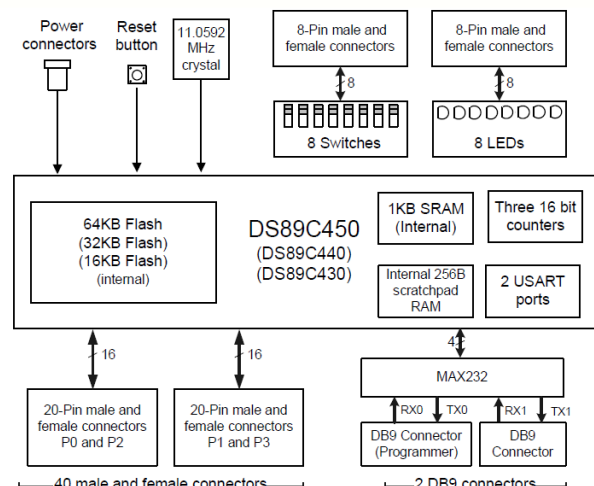
El Kit MDE 8051 es una herramienta de control para múltiples dispositivos, tiene un diseño versátil, cuenta con un microcontrolador DS89C4xx programable, varios conectores de E/S y soporta diversas opciones de programación incluyendo el lenguaje 8051 ensamblador y C.

Las características que incluye el Kit (Figura 2.7 a)) son:

- Un microcontrolador DS89C450 Maxim Semiconductor (un 8051/52) con 64K bytes de memoria Flash.
- Ocho on- board Interruptores accesibles por medio de conectores machos y hembras.
- Ocho LEDs on- board accesibles por medio de conectores machos y hembras.
- Un regulador de voltaje on- board (en algunas versiones).
- Dos conectores de 20 pines accesibles por medio de conectores machos y hembras permitiendo acceso para todos los puertos del 8051, o sea, P0, P1, P2, y P3 para la conexión de dispositivos externos (Tabla 7).
- Soporte para programar el Maxim on- chip de la comunicación serie. (Usando PC Hyperterminal, no necesita un quemador externo de EPROM).
- Dos puertos serie RS232 compatibles con conectores DB9.



a)



b)

Figura 2.7: a) Kit MDE8051 ; b) Diagrama en bloques del Kit.

El DS89C450 ofrece el mayor rendimiento disponible en los microcontroladores 8051 compatibles. Estos microcontroladores, se centran en núcleos recién diseñados que ejecutan instrucciones hasta 12 veces más rápido que el 8051 original a la misma frecuencia del cristal. Aplicaciones típicas pueden experimentar un incremento de su velocidad de hasta 10 veces. Las características del DS89C450 (Figura 2.7 b) y Figura 2.8) incluyen:

- Compatibilidad en los pines e instrucciones con el 8051.
- Es programable a través del puerto serie (No necesita un quemador de EPROM ya que usa el puerto COM de la PC para descargar el programa usando MS Windows HyperTerminal).
- Dos interfaces serie USART (puerto COM).
- Tres timer counters de 16 bits.
- 64KB de espacio en memoria flash para programa.
- 256 Bytes Scratchpad RAM.
- 1kB SRAM para MOVX.
- Un ciclo de reloj por uno de máquina.

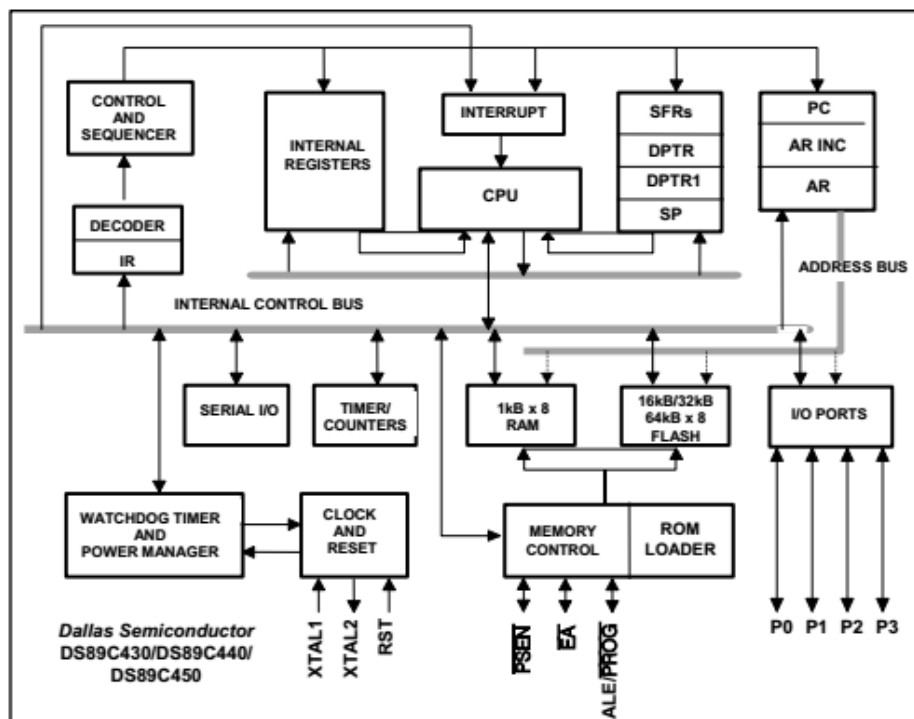


Figura 2.8. Esquema en bloques del microcontrolador DS89C4xx.

Tabla 2.6: Descripción de los conectores.

Conector	Descripción	8051 Trainer 20 Pins Header to DS89C450 Ports / Bit		
		Pin	Función	Port / Bit
J2 and J4 P0 (Pin 2-9)	El bus de memoria externa. Estos pines son accesibles para las operaciones de I/O. También pueden estar conectados de forma multiplexada en una línea de dirección /datos del DS89C450 para interfaz externa del bus de memoria.	1	VCC	
		2	AD0	P0.0
		3	AD1	P0.1
		4	AD2	P0.2
		5	AD3	P0.3
		6	AD4	P0.4
		7	AD5	P0.5
		8	AD6	P0.6
		9	AD7	P0.7
		10		
		11	ALE	
		12	PSEN	
J2 and J4 P2 (Pin 13-20)	El bus de memoria externa. Estos pines son accesibles para la operación de I/O, pueden estar conectados a los pines de dirección de orden superior de la interfaz externa del bus de memoria.	13	A8	P2.0
		14	A9	P2.1
		15	A10	P2.2
		16	A11	P2.3
		17	A12	P2.4
		18	A13	P2.5
		19	A14	P2.6
		20	A15	P2.7
J1 and J3 P1 (Pin 1-8)	El PORT1 es usado para las operaciones de I/O. Si los jumpers S1 y S2 están conectados, entonces P1.2 y P1.3 no deberían ser externamente usados porque estarán conectados a Max232 para usar el puerto serie#1. Para poder conectar P1.2 y P1.3 a un dispositivo externo se deben desconectar los jumpers S1 y S2,(ver tabla 2.7).	1	I/O	P1.0
		2	I/O	P1.1
		3	I/O	P1.2
		4	I/O	P1.3
		5	I/O	P1.4
		6	I/O	P1.5
		7	I/O	P1.6
		8	I/O	P1.7
		9		
J1 and J3 P1 (Pin 10-17)	Comunicación por puerto serie e interrupciones El puerto serial asincrónico UART0 y las fuentes de interrupción externa del 8051 son parte de este puerto El puerto serial#0 es usado como interfaz serie del RS232. Este es empleado para programar el archivo hex del chip DS89C450 (descargándolo en el chip). Ningún dispositivo puede estar conectado en P3.0 y P3.1 durante la programación.	10	RxD0	P3.0
		11	TxD0	P3.1
		12	INT0I	P3.2
		13	INT1	P3.3
		14	T0	P3.4
		15	T1	P3.5
		16	WR	P3.6
		17	RD	P3.7
		18		
		19		
		20	GND	

conector	Descripción	8051 Trainer 8 Pins Headers	
		Pin	Función
J5 and J7	Conectores de los Conmutadores Estos pines les proveen el acceso a los interruptores. Provee de cero o uno lógicos (0 o 5v) para el chip o cualquier dispositivo externo.	1	Switch 1 of dipswitch
		2	Switch 2 of dipswitch
		3	Switch 3 of dipswitch
		4	Switch 4 of dipswitch
		5	Switch 5 of dipswitch
		6	Switch 6 of dipswitch
		7	Switch 7 of dipswitch
		8	Switch 8 of dipswitch
J6 and J8	Conectores de LED Estos pines proveen de acceso a los LEDs. Cada entrada LED es dirigida por el IC 74LS244, por lo que no hay necesidad de una fuente externa.	1	LED 1
		2	LED 2
		3	LED 3
		4	LED 4
		5	LED 5
		6	LED 6
		7	LED 7
		8	LED 8

Tabla 2.7: Jumpers.

Jumper Label	Función
S1	RXD de serial #1 Este jumper es usado para conectar p1.2 al IC max232. Si el jumper S1 está conectado a P1.2 no debería ser externamente usado porque P1.2 está conectado a Max232 a través de S1. Para poder conectar P1.2 a un dispositivo externo se debe desconectar al jumper S1 en la board.
S2	TXD de serial #1 Este jumper es usado para conectar p1.3 al IC max232. Si el jumper S2 está conectado a P1.3 no debería ser externamente usado porque P1.3 está conectado a Max232 a través de S2. Para poder conectar P1.2 a un dispositivo externo se debe desconectar al jumper S2 en la board.

Funcionamiento:

El funcionamiento difiere de acuerdo con la manera en que se configure o se requiera para una aplicación específica. Los puertos son multipropósito, pero en algunas aplicaciones se usan de acuerdo con lo que se expone en la Tabla 2.6 y 2.7 o sea, se debe respetar las funciones definidas que cada uno desempeña, como es el caso del puerto tres(P3). La alimentación del kit ($V_{cc} = 5V$) puede ser usada en los componentes con los que se vaya a interactuar en conjunto con los leds y los switch que también ayudan en la señalización si es necesaria. El puerto serie#0 se usa para quemar el DS89C450 mediante HiperTerminal de Windows, para hacerlo la configuración se hace a 9600 8n1 sin control de flujo (para más información visitar la página: www.microdigitaled.com/8051/). El puerto serie#1 sirve para

controlar algún dispositivo que use la comunicación serie, como por ejemplo una impresora, para usarlo, los jumpers S1 y S2 tienen que estar conectados, para que se acoplen a Max232. Para poder conectar P1.2 y P1.3 a un dispositivo externo se deben desconectar los jumpers S1 y S2, (ver Tabla 2.7) [13].

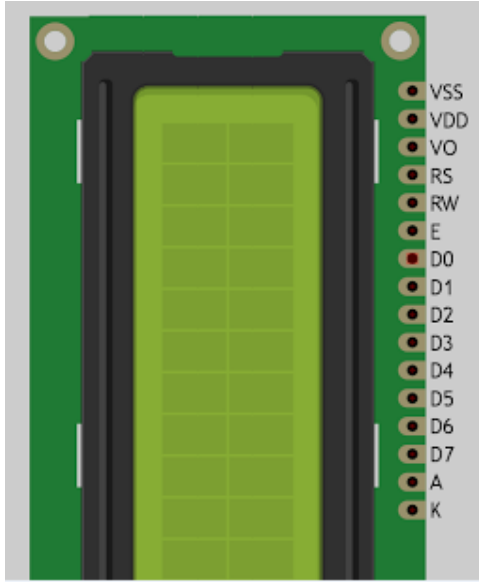
2.4 Pantalla de cristal líquido (LCD).

La aplicación cuenta con una pantalla LCD YJ-162A que tiene como objetivo mostrar el ID del Tag. Muchas de las aplicaciones donde se muestra información pueden ser resueltas con los display de 7 segmentos, pero estos presentan algunas limitaciones importantes, por ejemplo: no muestran caracteres alfanuméricos ni ASCII y tienen un elevado consumo de corriente (se debe recordar que se están encendiendo LEDs). Los módulos LCD solucionan estos inconvenientes y tienen algunas ventajas adicionales como la facilidad de conectar a microprocesadores y microcontroladores, sumado a la óptima presentación de la información.

Características principales del LCD:

- Dieciséis caracteres por dos líneas (existen display de más caracteres y más líneas).
- Encendido /Apagado del display.
- Parpadeo del cursor.
- Desplazamiento izquierdo/ derecho.
- Regreso del cursor al inicio.
- Reconoce ASCII estándar.
- Soporta 132 caracteres alfanuméricos y 32 de control.
- Display de matriz de punto de 5x7.

Los pines de conexión de estos módulos incluyen un bus de datos de 8 bits, un pin de habilitación (E), un pin de selección que indica si lo que se está enviando por el bus es un dato o una instrucción (RS) y un pin que indica si se va a leer o escribir en el módulo (R/W). La tabla 2.8 describe en detalle los pines mencionados.

Tabla 2.8: Patillaje del LCD.*Figura 2.9: Patillaje del LCD.*

PIN	SÍMBOLO	Nombre y función
1	VSS	GND (Tierra 0V)
2	VDD	Alimentación +5V
3	VO	Ajuste del contraste
4	RS	Selección DATO/CONTROL
5	RW	Lectura o escritura en LCD
6	E	Habilitación
7	D0	D0 bit menos significativo
8	D1	D1
9	D2	D2
10	D3	D3
11	D4	D4
12	D5	D5
13	D6	D6
14	D7	D7 bit más significativo
15	LED+	Ánodo de LED backlight (A)
16	LED-	Cátodo de LED backlight (B)

Según la operación que se desee realizar en el módulo LCD, los pines de control E, RS, RW deben tener un estado determinado y en el bus de datos un código que indique un carácter para mostrar en la pantalla o una instrucción de control para el display. Los módulos LCD responden a un conjunto especial de instrucciones que deben ser enviadas por el microcontrolador o sistema de control al display, según la operación que se requiera. A continuación, se muestran el conjunto de instrucciones del módulo LCD.

Nombres y significado de los bits e instrucciones de la Tabla 2.9:

I/D – 0 = disminuir el contador de dirección, 1 = incrementar el contador de dirección.

S – 0 = Sin corrimiento de display, 1 = Con corrimiento de display.

D – 0 = Display Apagado, 1 = Display Encendido.

C – 0 = Cursor Apagado, 1 = Cursor Encendido.

B – 0 = Parpadeo cursor Apagado, 1 = Parpadeo Cursor Encendido.

S/C – 0 = Mover Cursor, 1 = Corrimiento de pantalla.

R/L – 0 = Mover/Correr a la izquierda, 1 = Mover/Correr a la derecha.

DL – 0 = Interfaz de 4 bits, 1 = Interfaz de 8 bits.

N – 0 = 1 línea, 1 = 2 líneas.

F – 0 = 5×8 puntos, 1 = 5×10 puntos.

BF – 0 = puede aceptar instrucción, 1 = operación interna en progreso.

Tabla 2.9: Configuraciones del LCD.

Instrucción	Código de Operación										Descripción	Tiempo de Ejecución
	RS	R/W	B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0		
Borrar pantalla	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	Borra el contenido de la pantalla y retorna el cursor a la posición "home" (dirección 0).	1.52 ms
Cursor a casa	0	0	0	0	0	0	0	0	1	*	Retorna el cursor a la posición "Home". Retorna también el área de visión a la posición inicial. El contenido de la DDRAM permanece intacto.	1.52 ms
Seleccionar modo	0	0	0	0	0	0	0	1	I/D	S	Incrementar/Decrementar dirección (I/D); Habilitar corrimiento de pantalla (S). Estas operaciones se realizan al leer o escribir datos.	37 μ s
Encender/ apagar pantalla	0	0	0	0	0	0	1	D	C	B	Enciende o apaga el display (D), Cursor encendido / apagado (C), parpadeo del cursor (blink) (B).	37 μ s
Desplazar Cursor / Pantalla	0	0	0	0	0	1	S/C	R/L	*	*	Selecciona entre desplazamiento de pantalla o de cursor (S/C), selecciona la dirección de desplazamiento (R/L). El contenido de la DDRAM permanece intacto.	37 μ s
Activar función	0	0	0	0	1	DL	N	F	*	*	Configurar en ancho de bus (4 u 8 bits) (DL), Número de líneas de display (N), y tipo de fuente (F).	37 μ s
CGRAM	0	0	0	1	Dirección generador de RAM						Escribe la dirección de CGRAM. Los datos a almacenar en CGRAM pueden ser enviados después de esta instrucción	37 μ s
DDRAM	0	0	1	Dirección de datos RAM							Escribe la dirección de DDRAM. Los datos a almacenar en DDRAM pueden ser enviados después de esta instrucción	37 μ s
Bandera de ocupado	0	1	BF	Dirección CGRAM/DDRAM							Leer bandera "Ocupado" (Bussy Flag o BF) indicando si el controlador está realizando alguna operación interna o está listo para aceptar datos/comandos. Lee la dirección CGRAM o DDRAM (dependiendo de la instrucción previa).	0 μ s
Escritura CG RAM/DD RAM	1	0	Escribir Datos								Escribe datos a las memorias CGRAM o DDRAM.	37 μ s
Lectura CGRAM/DDRAM	1	1	Leer Datos								Lee datos desde las memorias CGRAM o DDRAM.	37 μ s

La interfaz entre el microcontrolador y el LCD se puede realizar con cualquiera de los puertos trabajando a 4 u 8 bits; en la Figura 14 se ilustra cómo se conectan a los puertos P1 y P3 respectivamente. Las señales de control trabajan de la misma forma en cualquiera de los dos casos, la diferencia se establece en el momento de iniciar el display y la manera en que se chequea la bandera de ocupado, ya que existe una instrucción que permite establecer dicha configuración. O sea, se debe comunicar al LCD que se operará en 8 o 4 bits, y en el caso de 4 bits la bandera de ocupado debe ser chequeada (con una instrucción) después de que dos datos de cuatro bits hayan sido transferidos.

Inicialización del LCD:

Esta operación se puede realizar de dos maneras:

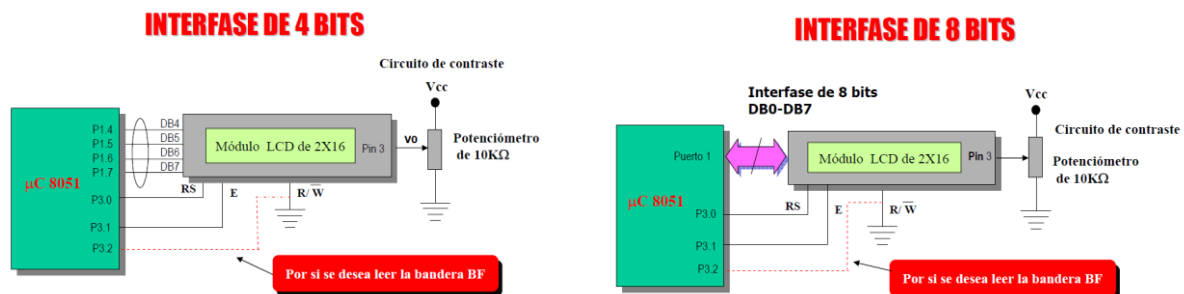


Figura 14: Interfaces.

-Por circuito interno: los controladores se iniciarán de manera automática si durante el encendido conseguimos que el voltaje de alimentación suba desde 0.2V hasta 4.5V en un tiempo mínimo de 10 ms, pero se recomienda 15ms. Igualmente el tiempo de desconexión debe ser, como mínimo, de 1 ms antes de volver a conectar.

-Por programa: se realiza mediante una secuencia de iniciación, que consiste en enviar una serie de comandos que figuran en el LCD de la manera deseada, teniendo en cuenta la tabla 10 y el significado de los bits [14] [15].

2.5 Conclusiones del capítulo:

En este capítulo se analizaron los componentes e interfaces de la aplicación: el modulo lector /escritor MFRC522, el kit de desarrollo MDE 8051, el LCD YJ-162A, la interfaz SPI y los modos de conexión al Display a cuatro y ocho bits. Así se pudo conocer que, RFID-RC522 es un lector/escritor encapsulado en un IC para la comunicación inalámbrica, utiliza un sistema avanzado de modulación, demodulación y detección de errores para transpondedores

pasivos de 13.56Mhz. Este IC trabaja con la norma ISO/IEC 14443 A/MIFARE y NTAG y es capaz de comunicarse mediante diferentes interfaces como: SPI, I2C o serial UART. Mientras, el Kit MDE 8051 es una herramienta de control para múltiples dispositivos, tiene un diseño versátil, cuenta con un microcontrolador DS89C4xx programable, varios conectores de E/S y soporta diversas opciones de programación incluyendo el lenguaje 8051 ensamblador y C. Por su parte la pantalla LCD YJ-162A tiene como objetivo mostrar el ID del Tag. Para hacer el análisis de los componentes se comenzó por estudiar su estructura física y esquemática, el patillaje y luego el funcionamiento.

CAPÍTULO 3. DISEÑO Y VALIDACIÓN DE LA APLICACIÓN.

Este capítulo se dedicará al diseño de una aplicación con los componentes analizados en el capítulo anterior, controlada por un software programado en Ride7 con lenguaje de programación C. También se verificarán los resultados obtenidos por la aplicación implementándola virtualmente en el programa Proteus 8 Professional y en tiempo real para su confirmación o rectificación de fayas tanto en el hardware como en el software.

3.1 Diseño del hardware.

La manera seleccionada para conectar el hardware se muestra en la figura 3.1. Se conecta el LCD al puerto P1 para los datos/comandos y el puerto P3.5-7 para su control. Por el puerto P2.4-7 se conecta el módulo MFRC522 usando el protocolo SPI. Para la comunicación con la PC, necesaria para quemar el μ C, se usa el puerto serie#0 configurándose en 9600 8n1 sin control de flujo con el programa HiperTerminal de Windows.

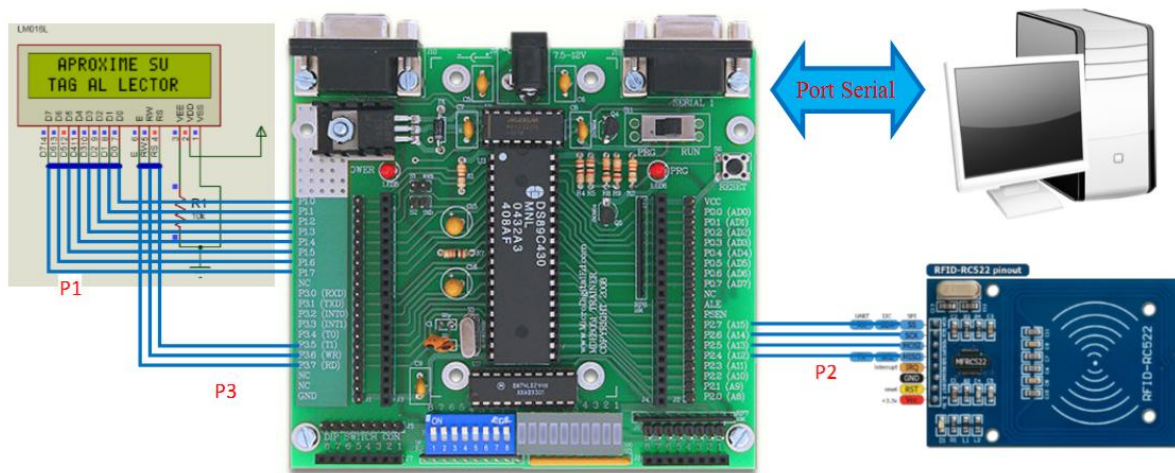


Figura 3.1: Diseño del Hardware.

Para conectar los dispositivos se usará una bread board, el foco del display se regula mediante una resistencia de $10K\Omega$. Mientras la alimentación del módulo MFRC522 de 3.3V se suministra a través de una red de 4 diodos rectificadores conectados en serie que se alimentan de el Vcc del Kit de desarrollo MDE 8051.

3.2 Diseño del software.

Para crear el programa de la aplicación se utilizó una de las técnicas de programación estructurada (el pseudocódigo) para organizar las ideas y reducir la complejidad, mejorar la claridad, y facilitar la depuración y modificaciones del programa. Después de analizar lo que se pretende con el programa se llega la siguiente plantilla:

WHILE (1) DO

 [Iniciar módulo MFRC522]

 [Iniciar protocolo SPI]

 [Mostrar un mensaje inicial]

 IF ([¿Hay alguna tarjeta?])

 THEN [Leer el número de serie de la tarjeta y mostrarlo por un tiempo]

 ELSE [Desactiva el módulo MFRC522]

END

Todo lo que está entre corchetes son funciones o tramos de código que hay que desarrollar o tomar de las bibliotecas de código creadas para los dispositivos e interfaces. Algunas bibliotecas son clásicas de uso común y vienen con los compiladores como son: reg52.h, intrins.h, studio.h, etc., otras como MFRC522.h, b_spi.h, lcd.h son propias de la aplicación por sus dispositivos físicos y características. El uso de bibliotecas exige un previo estudio para seleccionar las funciones que son útiles e imprescindibles para la aplicación, a continuación, se hará un reconocimiento de las funciones principales de las bibliotecas MFRC522.h, b_spi.h, lcd.h por su particularidad y para comentar su operación.

MFRC522.h:

MFRC522_Init(): Inicializa el módulo.

MFRC522_Reset(): Resetea módulo MFRC522.

MFRC522_Halt(): Desactiva el módulo. Coloca el modulo en estado de hibernación.

MFRC522_SelectTag(char *serNum): Selecciona el tipo de Tag, para posteriormente ser autenticado.

serNum : Número de serie. 5 bytes.

MFRC522_Auth(char authMode, char BlockAddr, char *Sectorkey, char *serNum): Realiza la autenticación de un determinado bloque para activar la lectura escrita de ese bloque.

authMode : Tipo de autenticación.

BlockAddr : Número de bloque (es el cuarto bloque del sector).

SectorKey :Sector de autenticación de 6 bytes. Generalmente es definido como 0xFFFFFFFFFFFFF.

MFRC522_Write(char blockAddr, char *writeData): Escribe 16 bytes de un número determinado en un bloque, luego de ser autenticado

blockAddr: Número de bloque. Excepto el cuarto bloque del sector, que es usado para autenticar.

writeData : 16 bytes a ser escrito.

MFRC522_Read(char blockAddr, char *recvData): Lee 16 bytes de un número determinado en un bloque, luego de ser autenticado.

recvData : Retorna los 16 bytes leídos.

MFRC522_isCard(char *TagType): Verifica si hay algún Tag.

TagType : Retorna un tipo de Tag.

MFRC522_ReadCardSerial(char *str): Realiza la lectura del número de serie de un Tag.

str : Retorna un número de serie de 5 bytes (4 bytes + checksum).

Nota: Estas funciones usan otras que están en la biblioteca b_spi para la comunicación con el µC anfitrión.

3.2.2b_spi.h:

Soft_SPI_Init (): Inicializa SPI.

Soft_SPI_Write (byte val):Escribe.

val: variable para multiples usos.

Soft_SPI_Read (): Lee.

Soft_SPI_Transfer (byte val):Transfiere

CS_LOW (): cs=0 selección de chip

CS_HIGH ():cs=1 selección de chip

delay_us (): demora

Nota: Se puede observar en el código que las funciones describen perfectamente lo necesario para que el módulo MFRC522 y el μ P DS89C450 se comuniquen y cumple con lo descrito en el epígrafe 2.2

lcd.h

lcd_init (): Inicializar LCD

busy (): Chequear si está ocupado el LCD

wrt_cmd (byte): Mandar commando

bite: variable para multiples usos.

wrt_data (byte): Mandar un caracter

wrt_string (byte*): Mandar string

wrt_value (byte): Mandar 8-bit Decimal value

cursorxy (byte, byte): Localizaciones del cursor (X, Y), para X->1-2 y Y->1-16

Nota: Se puede observar en el código que las funciones describen perfectamente lo necesario para controlar el LCD haciendo uso de la tabla 2.9 e inicializando con la interfaz a 8 bits muestreando el bit 7 del puerto P1

Siguiendo el orden y la lógica de la plantilla en conjunto con el uso de las bibliotecas se confecciono el programa controlador con ayuda del Programa Ride 7 para un μC AT89C52 compilando correctamente, el código se expone en el Anexo I.

3.3 Validación de la Aplicación de forma virtual.

La validación virtual de la aplicación se lleva a cabo en Proteus 8 Professional, la dificultad radica en que el módulo lector MFRC522 no se encuentra en su biblioteca, por tanto, se podrá probar el display LCD y el protocolo SPI, este último con la ayuda de una pieza cualquiera (MCP3208 y el sensor de temperatura) que interactúe con el microcontrolador, y observarse su funcionamiento mediante el SPI DEBUGGER de Proteus. La aplicación se ensambló como muestra la figura 3.2, el archivo de extensión HEX proporcionado por Ride 7 se carga en el μC AT89C52 y al correr la simulación se comprueba que muestra del mensaje inicial en el display LCD y hay intercambio de datos mediante la interfaz SPI.

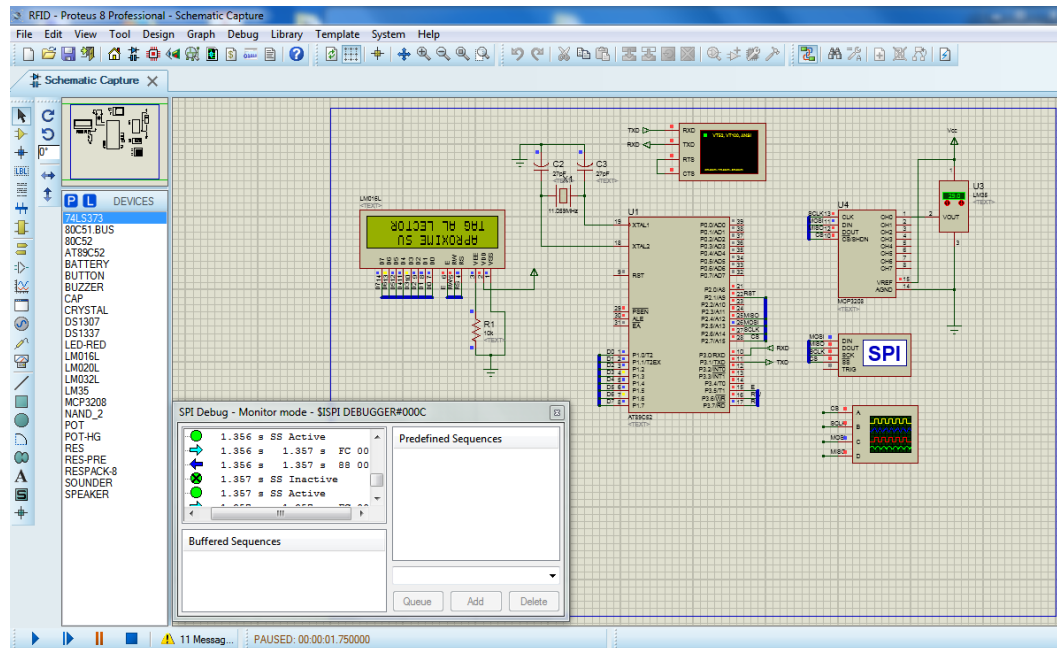


Figura 3.2: Aplicación ensamblada en Proteus.

3.3 Validación de la Aplicación de forma real.

Para la validación real de la aplicación se conectaron los dispositivos y componentes en una bread board en correspondencia con la Figura 3.3. Luego se empleó el puerto serie#0 con el programa HiperTerminal de Windows para introducir el archivo de extensión HEX

proporcionado por Ride 7 en el Kit MDE 8051. En un primer momento no se distinguían las letras por lo que se procedió a regular la iluminación del display LCD. Los resultados fueron satisfactoriamente validados, observándose el mensaje inicial en el LCD (Figura 3.3), tras el acercamiento del Tag al módulo MFRC522 muestra la identidad en la pantalla (Figura 3.4) y luego de cinco segundos vuelve a mostrar el mensaje inicial.

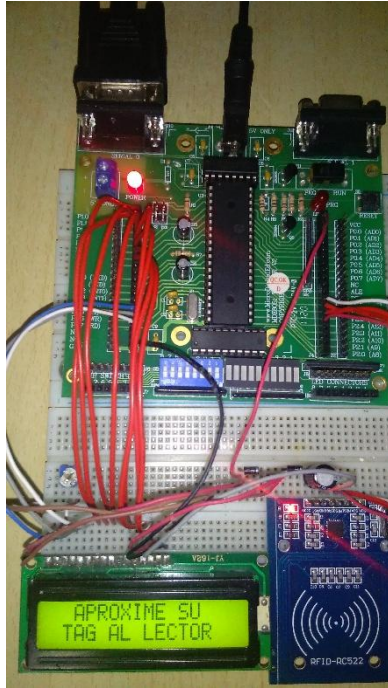


Figura 3.3: LCD con mensaje inicial.

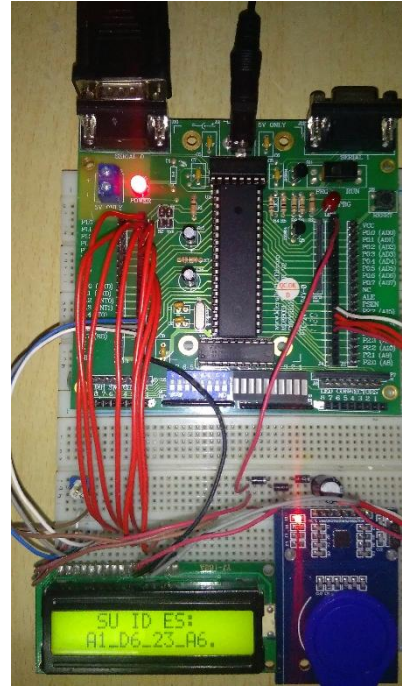


Figura 3.4: LCD con la identidad del Tag.

3.5 Conclusiones del capítulo

En el presente capítulo se explicó el diseño de la aplicación, controlada por un software programado en Ride7 con lenguaje de programación C. La manera seleccionada para conectar el hardware fue acoplando el LCD al puerto P1 y el P3.5-7. Por el puerto P2.4-7 se instaló el módulo MFRC522 usando el protocolo SPI. Por otro lado, se utilizó el pseudocódigo para la creación de la plantilla del programa de la aplicación. Posteriormente se verificaron los resultados obtenidos por la aplicación implementándola virtualmente en el programa Proteus 8 Professional, mostrando un buen desempeño. Para la implementación en tiempo real se conectaron los dispositivos y componentes en una bread board. Se empleó el puerto serie#0 con el programa HiperTerminal de Windows para introducir el programa en el kit. Después de algunos ajustes se comprobó que el funcionamiento estuvo acorde con lo esperado.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

A partir del análisis de los resultados obtenidos mediante el proceso investigativo llevado a cabo y del diseño de la aplicación con tecnología RFID desarrollado se concluye que:

La tecnología RFID posee un amplio campo de aplicación, desde ámbitos domésticos hasta de seguridad nacional. Actualmente se ha perfeccionado y han disminuido sus costos de implementación, las etiquetas son más chicas, cuentan con mayor capacidad de almacenamiento, poseen antenas más eficientes y potentes; lo que lleva a pensar que se ampliará su utilización.

Los resultados obtenidos por la aplicación se verificaron implementándola virtualmente en el programa Proteus 8 Professional, cumpliendo con los resultados esperados: muestra del mensaje inicial en el display LCD e intercambio de datos mediante la interfaz SPI. Para la implementación en tiempo real se empleó el puerto serie#0 con el programa HiperTerminal de Windows para introducir el programa en el kit y se reguló el foco del display LCD para una mejor visibilidad de los datos. Los resultados fueron satisfactoriamente validados, observándose el mensaje inicial en el LCD, tras el acercamiento del Tag al módulo MFRC522 muestra la identidad en la pantalla y luego de cinco segundos vuelve a mostrar el mensaje inicial.

Recomendaciones

Los resultados alcanzados en el presente Trabajo de Diploma pueden contribuir al desarrollo de futuras investigaciones y posible aplicación. Para establecer la necesaria continuidad que debe tener este trabajo se recomienda:

- Ampliar el alcance de las funciones utilizadas e incluir los elementos de seguridad para un óptimo desempeño.
- Introducir más dispositivos que desempeñen otras funciones como: un teclado, una interfaz de comunicación con una PC, algún dispositivo de sonido para cuando se hace una lectura correcta etc.
- Con una interfaz de comunicación existente se podría crear un sistema de información con su base de datos.
- Diseñar y acoplar una antena que permita la lectura a mayor distancia.
- Si se añadieran todos los elementos recomendados se podría montar todo el sistema sobre una placa única diseñando su circuito impreso.
- Para finalizar, se podría valorar la posibilidad de diseñar el lector de forma móvil con el uso de baterías.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] A. B. B. y. A. M. B. Javier I. Portillo, « Informe de Vigilancia Tecnológica madri+d,» Fundación madri+d para el Conocimiento, Madrid, 2008.
- [2] F. S. Diego Kaniewicz, «Implementación de las Tecnología RFID en el Ambito Hospitalario,» 2013.
- [3] J. C. Llamazares, «ecojovent,» [En línea]. Available: <http://www.ecojoven.com/dos/03/RFID.html>.
- [4] J. A. A. Sánchez, «Sistema de Control de Acceso con RFID,» México, 2008.
- [5] M. G. Aranda, *Sistema de control de parking basado en RFID*, Bellaterra, 2014.
- [6] B. R.-A. Ruiz-Garcia, *Sistemas de Control en el Transporte de productos Perecederos*, Madrid. España..
- [7] F. Klaus, *RFID HANDBOOK*, Tercera ed., United Kingdom: John Wiley & Sons, Ltd., 2010.
- [8] J. Soloa, *Radio Frequency Identification*, Argentina.
- [9] D. G. H. P. Julian Botero D, «Lainterencia como un factor que afecta el desempeño de un sistema RFID,» 2009.
- [10] C. R.-M. G. J. D. M. F. Sadot Alexandres Fernández, *RFID: La tecnología de identificación por radiofrecuencia*, 2006.
- [11] I. T. Corporation, «Conceptos básicos de RFID:Conocimiento y uso de la identificación por radiofrecuencia,» 2007.

-
- [12] L. w. series, «RFID:Tecnología, Aplicaciones y Perspectivas,» Málaga, España, 2010.
- [13] N. f. b. Philips, «MFRC522 Contactless Reader IC,» Public Information, 2007.
- [14] M. J. E. I. Esquer, Serial Peripheral Interface (SPI) Microprocesadores y Microcontroladores, Mexico, 2015.
- [15] Antonio, «picferalia,» 2013. [En línea]. Available: <http://picferalia.blogspot.com/2013/04/comunicaciones-serie-spi.html>.
- [16] I. Digilent, «8051 Traiiner Board Refference Manual,» 2008.
- [17] «elcajondeardu,» 2013. [En línea]. Available: <http://elcajondeardu.blogspot.com/2013/12/tutorial-conectando-una-pantalla-lcd.html>.
- [18] C. C. Q., «Modulo LCD HD44780 de Hitachi y el IC 8051».

Anexos

Anexo I: Código de la aplicación.

```
#include <MRFC522.h>
#include <reg52.h>
#include <stdio.h>
#include <lcd.h>
#define RST = byte key[6] = {0xFF, 0xFF, 0xFF, 0xFF, 0xFF, 0xFF};
code byte cadena[] = {"0","1","2","3","4","5","6","7","8","9","A","B","C","D","E","F"};
void byteToHex (byte valor);    // convierte de bit a hexadecimal
void mensaje_inicial ();        //muestra mensaje inicial
byte hexa[2];                   //acumula 2 valores en hexadecimal
byte UID[6];                    //almacena el ID del TAG ¿en binario?

void main ()
{
    byte TagType;               //tipo de Tag
    byte i;
    MRFC522_Init();             //iniciar modulo MRC522
    Soft_SPI_Init();            //iniciar SPI
    lcd_init();                 //inicia LCD
    build_ram();                //Caracteres según su posición para el LCD

    while (1)
    {
        mensaje_inicial ();
        if(MRFC522_isCard(&TagType))    //Verifica si hay alguna tarjeta
        {
            if(MRFC522_ReadCardSerial(&UID))    //Lee el número de serie de la tarjeta y
            {                                     // lo muestra
                wrt_cmd(0x01);
                wrt_cmd(0x80);
                wrt_string(" SU ID ES: ");
                cursorxy(0,1);
                for(i=0; i<5; i++)
                {
                    byteToHex(UID[i]);
                    wrt_data(cadena[hexa[0]]);
                    wrt_data(cadena[hexa[1]]);
                    wrt_string("-");
                }
            }
        }
    }
}
```

```
        }
        delay_ms(200);    // Demora para mostrar el numero ID
    }
}
MFRC522_Halt();          //Desactiva el modulo
}
}
void byteToHex(byte valor)
{
    byte i, numero = valor;
    i=1;                  //iniciando el contador
    while (numero!=0)
    {
        hexa[i]=numero%16;
        numero=valor/16;
        i--;
    }
}
void mensaje_inicial()
{
    wrt_cmd(0x01);        //Limpia pantalla de visualización
    wrt_cmd(0x80);        //Forzar el cursor al inicio de la primera línea
    wrt_string(" APROXIME SU ");
    cursorxy(0,1);
    wrt_string(" TAG AL LECTOR ");
}
```