



UNIVERSIDAD NACIONAL  
DE MAR DEL PLATA  
.....

FACULTAD DE INGENIERÍA

Laboratorio de Comunicaciones

---

## **Sistema de control de personal por RFID**

---

Tesis de grado Ingeniería Electrónica

**Autores:**

**Romano, Lucas**

**Vial, Axel**

**Director:**

**Msc. Ing. Monica Liberatori**

**Junio de 2017**



RINFI se desarrolla en forma conjunta entre el INTEMA y la Biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Mar del Plata.

Tiene como objetivo recopilar, organizar, gestionar, difundir y preservar documentos digitales en Ingeniería, Ciencia y Tecnología de Materiales y Ciencias Afines.

A través del Acceso Abierto, se pretende aumentar la visibilidad y el impacto de los resultados de la investigación, asumiendo las políticas y cumpliendo con los protocolos y estándares internacionales para la interoperabilidad entre repositorios



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-  
NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

# Resumen

La identificación automática de personas y objetos posibilita la gestión y adquisición de información para las distintas organizaciones. Dentro de las diversas técnicas de identificación automática, RFID (Radio frequency Identification, Identificación por Radiofrecuencia) propone varias mejoras con respecto a tecnologías predecesoras y promete una expansión en su universo de utilización con el correr de los años.

Una correcta comprensión de todos los factores que influyen en un sistema RFID es importante para lograr realizar adecuadamente una implementación según las necesidades requeridas.

Con el objetivo de ofrecer una comprensión general de dichos factores, en este proyecto se realizó un estudio, desarrollo y aplicación de la tecnología RFID aplicado a un sistema para registro de personal. Este sistema debe ser capaz de registrar el horario de ingreso y egreso de todos los individuos de una organización para que luego, por medio de una interfaz, el administrador pueda extraer dicha información para su posterior análisis. El trabajo consistió en la elaboración de un equipo lector y el desarrollo de una aplicación de interfaz con el administrador, además del diseño de una base de datos relacional para el almacenamiento de la información.

# Contenido

|  |     |
|--|-----|
| Resumen .....  | II  |
| Lista de figuras .....                                   | V   |
| Lista de tablas.....                                     | VII |
| CAPÍTULO 1 - Introducción .....                          | 1   |
| 1.1    Historia .....                                    | 2   |
| 1.2    Radiofrecuencia.....                              | 3   |
| 1.3    Auto-identificación .....                         | 4   |
| 1.3.1    Código de barras.....                           | 5   |
| 1.3.2    Sistemas biométricos.....                       | 5   |
| 1.3.3    Reconocimiento óptico de caracteres (OCR) ..... | 5   |
| 1.3.4 <i>Smart Cards</i> , Tarjetas inteligentes .....   | 6   |
| 1.3.5    RFID .....                                      | 6   |
| 1.3.6    Comparación entre sistemas Auto ID .....        | 6   |
| CAPÍTULO 2 - Sistemas RFID .....                         | 7   |
| 2.1    Características fundamentales .....               | 8   |
| 2.1.1    Modo de transmisión .....                       | 8   |
| 2.1.2    Transpondedores pasivos y activos .....         | 9   |
| 2.1.3    Frecuencia, rango y acoplamiento.....           | 9   |
| 2.2    Transpondedor .....                               | 10  |
| 2.3    Lector .....                                      | 12  |
| 2.4    Antena.....                                       | 14  |
| 2.5    Codificación .....                                | 14  |
| 2.6    Estándares .....                                  | 16  |
| 2.6.1    Organizaciones de Estandarización .....         | 17  |
| 2.6.2    Estándares RFID .....                           | 17  |
| 2.7    Usos de la tecnología RFID .....                  | 20  |
| 2.7.1    Identificación de objetos .....                 | 21  |
| 2.7.2    Identificación de personas o animales.....      | 21  |
| 2.8    Beneficios .....                                  | 23  |

|   |   |    |
|---|---|----|
| 2.9   | Inconvenientes .....                                  | 23 |
| 2.10  | Recomendaciones .....                                 | 24 |
| CAPÍTULO 3 - Descripción del Equipo .....     |   | 27 |
| 3.1   | PIC18F2550.....                                       | 28 |
| 3.2   | RFID .....  | 31 |
| 3.3   | Pantalla de Cristal Líquido .....                     | 35 |
| 3.4   | Comunicación RS232 .....                              | 37 |
| 3.5   | Módulo Bluetooth .....                                | 39 |
| 3.6   | Reloj en tiempo real .....                            | 41 |
| 3.7   | Memoria EEPROM.....                                   | 44 |
| CAPÍTULO 4 - Soporte de Software .....        |   | 47 |
| 4.1   | Micro-controlador .....                               | 47 |
| 4.2   | Interfaz de usuario .....                             | 51 |
| CAPÍTULO 5 - Construcción del prototipo ..... |   | 67 |
| 5.1   | Consideraciones de diseño de circuitos impresos ..... | 67 |
| 5.2   | Diseño de los circuitos impresos .....                | 68 |
| 5.3   | Implementación del circuito impreso.....              | 70 |
| 5.4   | Ensamblado del prototipo .....                        | 73 |
| CAPÍTULO 6 - Conclusiones .....               |   | 76 |
| Bibliografía .....                            |   | 80 |

# Lista de figuras

|  |    |
|--|----|
| FIG. 1. ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO .....                  | 4  |
| FIG. 2. SISTEMAS AUTO ID .....                           | 5  |
| FIG. 3. ESQUEMA GENERAL SISTEMA RFID .....               | 7  |
| FIG. 4. MODOS DE TRANSMISIÓN .....                       | 9  |
| FIG. 5. TRANSPONDEDOR .....                              | 11 |
| FIG. 6. TIPOS Y FORMATOS DE TAGS .....                   | 12 |
| FIG. 7. DIAGRAMA EN BLOQUES DEL LECTOR .....             | 13 |
| FIG. 8. SISTEMA DE COMUNICACIÓN RFID .....               | 15 |
| FIG. 9. TIPOS DE CODIFICACIÓN .....                      | 16 |
| FIG. 10. PICC .....                                      | 19 |
| FIG. 11. ENCRIPCIÓN .....                                | 25 |
| FIG. 12. DIAGRAMA GENERAL DEL SISTEMA .....              | 27 |
| FIG. 13. DIAGRAMA DE PINES DEL PIC18F2550 .....          | 28 |
| FIG. 14. ARQUITECTURA INTERNA DEL PIC18F2550 .....       | 29 |
| FIG. 15. ESQUEMÁTICO DE CONEXIONES .....                 | 31 |
| FIG. 16. BLOQUE SIMPLIFICADO DEL MFRC522 .....           | 33 |
| FIG. 17. MÓDULO RFID-RC522 .....                         | 33 |
| FIG. 18. ESQUEMÁTICO MÓDULO RFID-RC522 .....             | 35 |
| FIG. 19. <i>DISPLAY</i> .....                            | 36 |
| FIG. 20. CONECTOR DB9 .....                              | 38 |
| FIG. 21. ESQUEMÁTICO DEL MAX232 .....                    | 38 |
| FIG. 22. MÓDULO BLUETOOTH HC-05 .....                    | 39 |
| FIG. 23. ESQUEMÁTICO RTC .....                           | 42 |
| FIG. 24. MÓDULO RTC .....                                | 42 |
| FIG. 25. PROTOCOLO I <sup>2</sup> C .....                | 43 |
| FIG. 26. MODOS DE OPERACIÓN DS1307 .....                 | 44 |
| FIG. 27. ASIGNACIÓN DE BYTES EEPROM .....                | 45 |
| FIG. 28. CONEXIÓN EEPROM Y MICRO-CONTROLADOR .....       | 46 |
| FIG. 29. DIAGRAMA DE FLUJO INTERRUPCIÓN POR TIEMPO ..... | 49 |
| FIG. 30. ESPACIO DE MEMORIA .....                        | 50 |
| FIG. 31. FORMATO REGISTRO .....                          | 51 |
| FIG. 32. VENTANA INICIAR SESIÓN .....                    | 54 |
| FIG. 33. CÓDIGO CREAR BASE DE DATOS .....                | 55 |
| FIG. 34. CÓDIGO CREAR TABLA SESIÓN .....                 | 55 |
| FIG. 35. VENTANA MENÚ PRINCIPAL .....                    | 56 |
| FIG. 36. VENTANA USUARIOS .....                          | 56 |
| FIG. 37. VENTANA EMPLEADOS .....                         | 57 |
| FIG. 38. SQL INSERT Y DELETE .....                       | 57 |
| FIG. 39. VENTANA ID TARJETA .....                        | 58 |
| FIG. 40. VENTANA CONFIGURACIÓN .....                     | 58 |
| FIG. 41. VENTANA RELOJ .....                             | 59 |

|   |    |
|---|----|
| FIG. 42. VENTANA GRUPOS HORARIOS .....                    | 59 |
| FIG. 43. VENTANA CONFIGURACIÓN GRUPO HORARIO.....         | 60 |
| FIG. 44. VENTANA ASIGNACIÓN GRUPO HORARIO .....           | 60 |
| FIG. 45. VENTANA DÍAS NO LABORABLES .....                 | 61 |
| FIG. 46. VENTANA FRANCOS.....                             | 61 |
| FIG. 47. VENTANA REGISTRO .....                           | 62 |
| FIG. 48. REPORTE REGISTRO .....                           | 63 |
| FIG. 49. COMANDO SQL <i>JOIN</i> .....                    | 63 |
| FIG. 50. BASE DE DATOS .....                              | 64 |
| FIG. 51. <i>JOINS</i> .....                               | 64 |
| FIG. 52. PÁGINA WEB - EMPLEADOS.....                      | 65 |
| FIG. 53. PÁGINA WEB - REGISTROS .....                     | 66 |
| FIG. 54. ESQUEMÁTICO DEL SISTEMA.....                     | 68 |
| FIG. 55. PCB .....  | 69 |
| FIG. 56. ILUSTRACIÓN 3D DEL PCB Y COMPONENTES .....       | 69 |
| FIG. 57. INSOLADORA .....                                 | 71 |
| FIG. 58. PCB LUEGO DE EXPOSICIÓN A LUZ ULTRAVIOLETA ..... | 72 |
| FIG. 59. PCB FINAL .....                                  | 73 |
| FIG. 60. PCB CON LOS COMPONENTES SOLDADOS .....           | 73 |
| FIG. 61. DISPOSICIÓN DENTRO DEL GABINETE .....            | 74 |
| FIG. 62. EQUIPO FINAL .....                               | 75 |
| FIG. 63. EQUIPO EN FUNCIONAMIENTO .....                   | 75 |

# Lista de tablas

|  |    |
|--|----|
| TABLA 1. COMPARACIÓN ENTRE SISTEMAS DE AUTO ID.....              | 6  |
| TABLA 2. PROCEDIMIENTOS DE COMUNICACIÓN .....                    | 20 |
| TABLA 3. CONFIGURACIÓN ESTABLECIDA DE PINES DEL PIC18F2550 ..... | 30 |
| TABLA 4. PINES RFID-RC522 .....                                  | 34 |
| TABLA 5. PINES DEL LCD .....                                     | 36 |
| TABLA 6. ASIGNACIÓN ENTRE PINES MICRO-CONTROLADOR Y LCD.....     | 37 |
| TABLA 7. PINES Y FUNCIÓN DEL MÓDULO BLUETOOTH .....              | 40 |
| TABLA 8. COMANDOS AT.....  | 40 |
| TABLA 9. PINES RTC.....  | 41 |
| TABLA 10. PINES EEPROM 24LC512.....                              | 45 |



# CAPÍTULO 1

## Introducción

En las últimas décadas, los procedimientos de identificación automática cobraron gran importancia en la gestión de organizaciones e industrias. Estos procedimientos se utilizan para proveer información acerca de personas, animales, bienes y productos en tránsito. En este contexto, la tecnología RFID (*Radio Frequency Identification*, Identificación por Radiofrecuencia) es una de las tecnologías de comunicación que ha experimentado un crecimiento más acelerado y sostenido. RFID es una tecnología muy flexible ya que permite la transferencia de datos entre dispositivos sin contacto físico, permitiendo un conjunto muy extenso de aplicaciones en una gran variedad de ámbitos.

RFID ofrece múltiples ventajas respecto a otros sistemas de identificación por lo que presenta expectativas a futuro muy prometedoras. Sin embargo el éxito de esta tecnología radicará en la disminución de sus costos, la consolidación de los estándares y la superación de ciertos obstáculos relacionados a la seguridad y privacidad.

En la actualidad, resulta primordial para las empresas, instituciones u otras organizaciones mantener un control sobre sus integrantes para garantizar tanto la asistencia y cumplimiento de horarios como quiénes ingresan a su establecimiento. Ante la imposibilidad de estar siempre pendientes de todas las actividades de sus miembros, los sistemas de control de asistencia y acceso cada día cuentan con mayor implementación.

El presente proyecto tiene como objetivo el estudio, desarrollo y aplicación de la tecnología RFID en un sistema para registro de personal. Este sistema debe ser capaz de registrar el horario de ingreso y egreso de todos los individuos de una organización, para que luego por medio de una interfaz el administrador pueda extraer dicha información para su posterior análisis. El trabajo consiste en la realización tanto del hardware para adquisición y almacenamiento de datos, como del software para el control del equipo y la interfaz de usuario. Además, al realizar este proyecto en el Laboratorio de Comunicaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Mar del Plata se busca obtener la experiencia de trabajo en un laboratorio. Finalmente se pretende plantear una perspectiva orientada hacia el usuario final del sistema a desarrollar, considerando funcionalidades, facilidades, costos, entre otros factores.

En este capítulo, se presenta el marco histórico de la tecnología por radiofrecuencia para entender sus orígenes, se desarrolla el concepto de auto-identificación y cuáles son las distintas variantes que existen.

## 1.1 Historia

Es complicado establecer un punto de partida claro para la identificación por radiofrecuencia. No se trata de una tecnología nueva, sino que presenta antecedentes desde el año 1939. Uno de los primeros dispositivos relacionados fue el transpondedor IFF (*Identification Friend or Foe*, Identificación Amigo o Enemigo), utilizado tanto por los alemanes como por los aliados para identificar aviones durante la Segunda Guerra Mundial.

Luego de la guerra, científicos e ingenieros continuaron sus investigaciones sobre estos temas. En Octubre de 1948, Harry Stockman publicó un artículo [1], que se puede considerar como la investigación más cercana al nacimiento de RFID. A partir de ese momento, el desarrollo de la tecnología RFID ha sido lento pero constante. Durante la década de los 50 se desarrollaron experimentos de laboratorio y se destacaron los artículos de F.L. Vernon [2] y de D.B. Harris [3], como importantes aportes al tema.

En los años 60 comenzaron las primeras pruebas de campo y actividades comerciales. Se fundaron las compañías Sensormatic, Checkpoint y Knogo, que investigaron soluciones para sistemas antirrobo y desarrollaron EAS (*Electronic Article Surveillance*, Vigilancia Electrónica de Artículos). El método EAS fue el primer desarrollo de RFID cuyo sistema se valía de un único bit de información permitiendo detectar el hurto de un producto.

Durante la década de los 70, desarrolladores, centros de investigación, empresas e instituciones académicas realizaron un activo trabajo y avances significativos con respecto a RFID. Además, el número de organizaciones dedicadas a esta tecnología creció notablemente. Grandes empresas como Raytheon, RCA y Fairchild crearon sus propios módulos RFID. En 1973, el inventor Mario Cardullo patentó un transpondedor pasivo con 16 bits de memoria, alimentado por la señal proveniente del lector. El dispositivo de Cardullo preveía usos en los sectores de transporte, seguridad y medicina. Debido a las mejoras técnicas y a la ampliación del campo, esta década representó la explosión de la identificación por radiofrecuencia.

En los años 80 se produjo un despliegue importante de la tecnología RFID. En 1983, Charles Walton, empresario estadounidense, obtuvo la primer patente bajo la abreviación RFID. Durante esta década, en los Estados Unidos, las principales aplicaciones se orientaron al transporte, al acceso de personal y, en menor medida, a la identificación de animales. Mientras que en Europa cobró importancia en el seguimiento de ganado y control en aduanas. Hasta ese momento todos los sistemas eran propietarios y no existía la interoperabilidad.

Ya en la década de los 90 se tomó conciencia de las enormes posibilidades que podía brindar la técnica de RFID y comenzaron a aparecer los primeros estándares. En Estados Unidos y

Europa se siguió profundizando en la implementación de peajes automáticos, gestión de autopistas y controles de acceso. En 1999, un conjunto de empresas fundó el Auto-ID Center en el MIT (*Massachusetts Institute of Technology*, Instituto de Tecnología de Massachusetts). La investigación se concentró en la utilización de un microchip, una antena y un número de serie por etiqueta. Esto constituyó un punto importante en términos de negocios ya que permitió fortalecer la comunicación entre fabricantes y clientes, posibilitando el seguimiento de productos.

A partir del año 2000, la identificación por radiofrecuencia se estableció como un complemento, y en algunos casos como posible sustituto, de los códigos de barras existentes. En 2003, el Auto-ID Center dio origen a EPCglobal, organismo regulador del sistema de códigos EPC (*Electronic Product Code*, Código Electrónico de Producto). Grandes organizaciones, entre ellas Walmart y el Departamento de Defensa estadounidense, planificaron adherirse al uso de este esquema de identificación. Las industrias farmacéutica, automotriz, entre otras, también lo comenzaron a implementar.

En los últimos años los intereses por la tecnología RFID siguen creciendo y su uso se extiende en diversos sectores, con una amplia disponibilidad en términos de novedades e información.

## 1.2 Radiofrecuencia

El espectro electromagnético es la distribución del conjunto de las ondas electromagnéticas. Estas últimas se identifican por su frecuencia de oscilación y su longitud de onda asociada, en base a las cuales se clasifican. Esta relación se presenta en (1).

$$f (\text{frecuencia}) = \frac{v (\text{velocidad de la onda})}{\lambda (\text{longitud de onda})} \quad (1)$$

La radiofrecuencia ocupa la banda del espectro entre 3 KHz y 300 GHz. A su vez existen rangos de frecuencias reservados internacionalmente conocidos como bandas ISM (*Industrial, Scientific and Medical*; Industrial, Científica y Médica), habilitados para operar sin necesidad de licencia. Las aplicaciones RFID, basadas en los estándares regulatorios, utilizan las bandas ISM para su funcionamiento.

El espectro electromagnético, con su correspondiente división, se muestra en la Fig. 1.

## Espectro Electromagnético

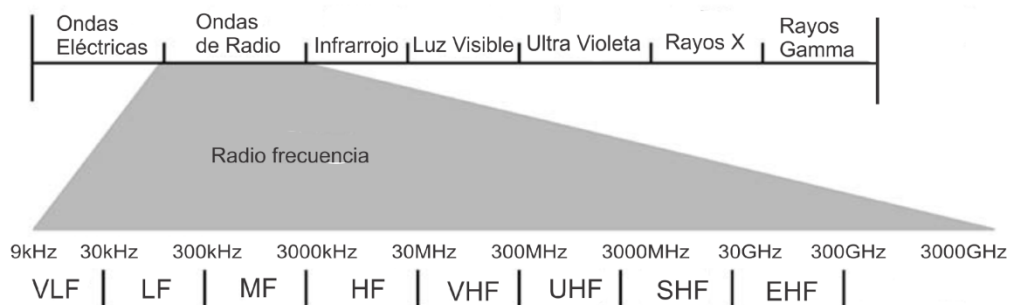


Fig. 1. Espectro Electromagnético

Donde:

- VLF: *very low frequency*, muy baja frecuencia.
- LF: *low frequency*, baja frecuencia.
- MF: *medium frequency*, media frecuencia.
- HF: *high frequency*, alta frecuencia.
- VHF: *very high frequency*, muy alta frecuencia.
- UHF: *ultra high frequency*, ultra alta frecuencia.
- SHF: *super high frequency*, súper alta frecuencia.
- EHF: *extremely high frequency*, extremadamente alta frecuencia.

### 1.3 Auto-identificación

La identificación juega un papel importante en la vida cotidiana actual. La acción de identificar hace referencia a la capacidad de diferenciar un ser vivo u objeto de otro.

El proceso de identificación automática por medio de distintos métodos y tecnologías es conocido bajo el nombre de Auto ID (*Automatic identification*, Identificación Automática). Este conjunto de métodos permite obtener la identidad en cuestión, recolectar y almacenar información a través de un sistema sin necesidad de intervención humana.

En la Fig. 2 se muestran distintos tipos de Auto ID existentes, entre ellos: código de barras, biométricos, OCR (*Optical Character Recognition*, Reconocimiento Óptico de Caracteres), tarjetas inteligentes y RFID.

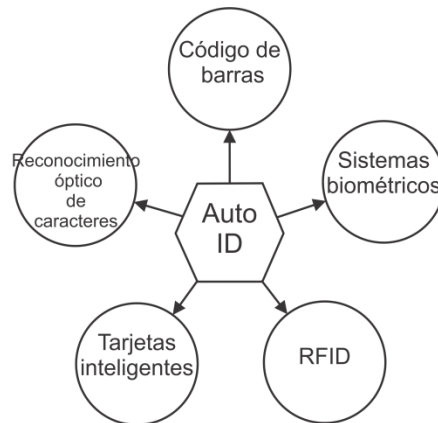


Fig. 2. Sistemas Auto ID

### 1.3.1 Código de barras

El código de barras es uno de los sistemas de identificación más empleado a nivel mundial. Se trata de un código binario comprendido por un arreglo en paralelo de barras y espacios, de diferentes tamaños. Su configuración responde a un patrón predeterminado, el cual es leído por un escáner óptico láser. La lectura se realiza debido a las diferentes reflexiones del haz del láser ocasionadas por las barras negras y espacios en blanco.

Existen dos grandes grupos de códigos de barras: lineales y bidimensionales. Dentro de los lineales, se encuentran EAN, Code128, Code39, Code93 y Codabar. El más popular es EAN (*European Article Number*, Número Europeo de Artículo), diseñado específicamente para el sector alimenticio. Por otra parte, los bidimensionales son PDF417, Datamatrix y QR (*Quick Response Code*, Código de Respuesta Rápida).

### 1.3.2 Sistemas biométricos

La biometría es la toma de medidas estandarizadas de los seres vivos o de procesos biológicos.

Dentro del contexto de la Auto ID, los sistemas biométricos incluyen a los procedimientos para identificar personas comparando características físicas individuales e inequívocas. Éstos comprenden las técnicas de reconocimiento por medio de huellas dactilares, voz e iris.

### 1.3.3 Reconocimiento óptico de caracteres (OCR)

El sistema OCR reconoce y procesa tipos especiales de caracteres legibles, para luego comparar estos patrones con aquellos que están almacenados en memoria. Mediante esta tecnología, el dispositivo lector identifica la serie de detalles de líneas, curvas y bordes que definen a cada carácter en un conjunto de caracteres definidos.

### 1.3.4 Smart Cards, Tarjetas inteligentes

Es un sistema electrónico de almacenamiento de datos que, en ciertos casos, presenta capacidad de procesamiento. Se lo incorpora dentro de una tarjeta plástica. Para su funcionamiento, el lector proporciona la energía y pulso de reloj a la tarjeta a través de la superficie de contacto. La transferencia de datos suele usar una interfaz serie bidireccional. Además, es posible diferenciar entre dos tipos de tarjetas inteligentes según su estructura interna: tarjetas de memoria, usualmente una EEPROM (*Electrically Erasable Programmable Read Only Memory*, Memoria de Sólo Lectura Programable y Borrable Eléctricamente) accedida mediante secuencia lógica; y tarjetas con microprocesador, con segmentos de memoria conectados a un microprocesador.

### 1.3.5 RFID

Los sistemas RFID están muy relacionados con las tarjetas inteligentes. Los datos son almacenados en un dispositivo electrónico para su transporte, conocido como transpondedor. El suministro de energía y el intercambio de datos entre el transpondedor y el dispositivo lector se realizan por medio de campos electromagnéticos. La tecnología se basa en técnicas relacionadas con las áreas de radiofrecuencia y radar.

### 1.3.6 Comparación entre sistemas Auto ID

A continuación, la Tabla 1 muestra una comparación entre los sistemas de Auto ID. En el mismo se detallan las ventajas y desventajas de cada uno con el fin de considerar las características que mejor se adaptan a determinado proyecto.

|   | Código de barra | OCR      | Biométrico          | Tarjeta Inteligente | RFID           |
|---|-----------------|----------|---------------------|---------------------|----------------|
| Densidad de datos                       | Baja            | Baja     | Alta                | Muy alta            | Muy alta       |
| Legibilidad por parte del ser humano    | Limitada        | Simple   | Difícil             | Imposible           | Imposible      |
| Impacto de la suciedad                  | Muy alto        | Muy alto | Depende del sistema | Medio               | Sin influencia |
| Influencia de obstáculos                | Total           | Total    | Depende del sistema | -                   | Sin influencia |
| Costo de equipamiento                   | Muy bajo        | Medio    | Muy alto            | Bajo                | Medio          |
| Riesgo de modificación sin autorización | Baja            | Baja     | Depende del sistema | Muy baja            | Muy baja       |
| Velocidad de lectura                    | Media           | Media    | Baja                | Media               | Alta           |

Tabla 1. Comparación entre sistemas de Auto ID

# CAPÍTULO 2

## Sistemas RFID

El capítulo se centra en la tecnología RFID (*Radio Frequency Identification*, Identificación por Radio Frecuencia), explicando los componentes básicos de un sistema y los estándares correspondientes, para finalizar con una discusión sobre los beneficios, complicaciones y recomendaciones en el uso de esta tecnología.

La identificación por radiofrecuencia emplea campos electromagnéticos para la identificación automática de objetos y/o personas. Un sistema RFID se conforma de tres componentes fundamentales: transpondedor (*transponder*), lector (*reader*) y software de gestión (*middleware*).

El esquema general de un sistema RFID puede verse en la Fig. 3

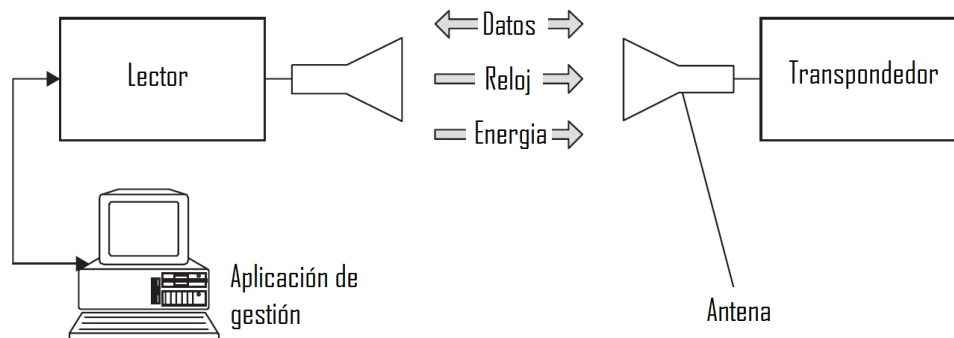


Fig. 3. Esquema general sistema RFID

El modo de funcionamiento consiste en una etiqueta RFID que genera una señal de radiofrecuencia al colocarse dentro del campo electromagnético generado por el lector. Esta señal es captada por la antena del lector, el cual se encarga de leer la información enviada y transmitirla al software de gestión del sistema.

## Transpondedor

Es un dispositivo de almacenamiento y transporte de información. El propósito principal es transmitir y recibir datos hacia un lector utilizando ondas de radio. Un transpondedor, también llamado *tag*, brinda información del ser vivo o producto al que está adherido.

Existen diferentes tipos de *tags* según sus características, entre ellas: capacidad de almacenamiento, formato de construcción y fuente de alimentación.

## Lector

Es el dispositivo encargado de generar la señal de radiofrecuencia con el fin de detectar los transpondedores que se encuentran dentro de cierto rango. A través de la generación de un campo electromagnético, se permite el suministro de energía y el intercambio de datos entre *tags* y *readers*.

Los lectores varían de acuerdo a sus tamaños, frecuencia, tipo de acoplamiento y potencia, entre otras características.

## Software de gestión (*middleware*)

Es el subsistema que proporciona los medios de proceso y almacenamiento de datos. Es el encargado de recopilar la información proveniente de los *tags*, filtrarla y dirigir solo los datos útiles a la aplicación de usuario.

## **2.1 Características fundamentales**

Al existir una enorme cantidad de sistemas RFID, ciertas características distintivas sirven para diferenciar un sistema de otro.

### **2.1.1 Modo de transmisión**

La transferencia de datos entre el transpondedor y el lector puede llevarse a cabo mediante dos procedimientos: full-duplex (FDX)/half-duplex (HDX) y secuencial (SEQ).

FDX/HDX: ambos procedimientos tienen en común el hecho de que la transferencia de energía desde el lector hacia el transpondedor es continua e independiente de la dirección del flujo de datos. Mientras que en FDX la transferencia de datos es simultánea, en HDX se realiza de manera alternada.

SEQ: el suministro de energía desde el *reader* al *tag* ocurre por un período limitado de tiempo (sistema pulsado). Durante el período de alimentación transmite datos el *reader* mientras que el *tag* lo realiza durante su ausencia.



En la Fig. 4 se muestra un diagrama con los distintos modos de transmisión.

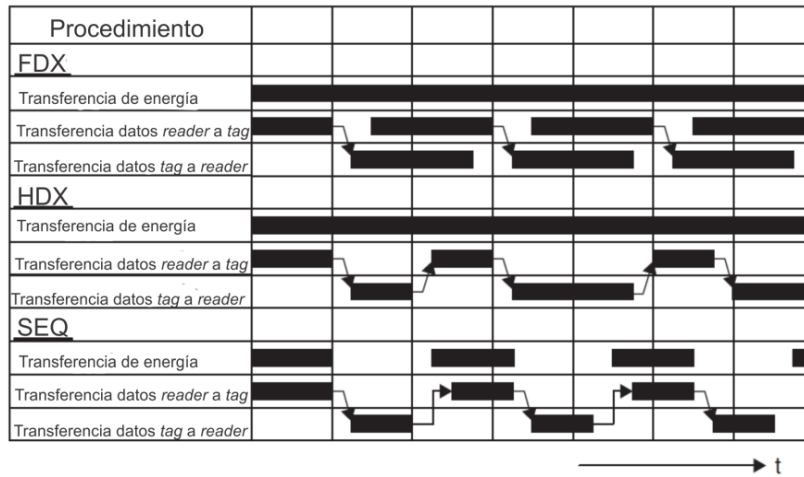


Fig. 4. Modos de transmisión

### 2.1.2 Transpondedores pasivos y activos

Un importante criterio de distinción de los sistemas RFID es la forma de suministrar energía al *tag*. Se diferencian entre transpondedores pasivos y activos. Los primeros no tienen fuente de alimentación propia. A través de la antena del transpondedor, el campo electromagnético o magnético del lector provee toda la energía requerida para su operación. En cambio, los activos poseen su propia fuente de energía en forma de batería, para alimentar el circuito interno. Debido a esto, el campo electromagnético o magnético proveniente del lector puede ser más débil que en el caso pasivo. Sin embargo, un *tag* activo no es capaz de generar una señal de alta frecuencia por sí mismo, sólo puede modular el campo del lector para transmitir datos.

### 2.1.3 Frecuencia, rango y acoplamiento

El criterio más importante de diferenciación de sistemas RFID lo conforman la frecuencia de operación del lector, el método de acoplamiento y el rango del sistema. Las frecuencias empleadas se encuentran comúnmente desde 135 KHz hasta 5.8 GHz. El acoplamiento físico se logra usando campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos. Por otro lado, el rango alcanzable del sistema puede variar desde unos pocos milímetros hasta decenas de metros.

Los sistemas RFID se pueden clasificar según las tres características mencionadas en sistemas de acoplamiento cercano, remoto y de largo alcance. Los sistemas de acoplamiento cercano se caracterizan por un rango variable entre 0 y 1 cm, frecuencias de operación entre DC y 30 MHz y acoplamiento de campos eléctricos o magnéticos. Los sistemas de acoplamiento remoto presentan un rango entre 1 cm y 1 m, frecuencias de operación de 135 KHz o menor, 13.56 MHz y

27.125 MHz, con acoplamiento por campos magnéticos. En el caso de largo alcance, el rango es mayor a 1 m, las frecuencias de operación se establecen en 868 MHz, 915 MHz, 2.5 GHz, 5.8 GHz y el acoplamiento es por campos electromagnéticos.

En el acoplamiento inductivo, los transpondedores son operados en forma pasiva. Para suministrar energía a los mismos, la antena del lector genera un campo electromagnético de alta frecuencia que penetra la sección transversal de la antena del *tag*. El campo electromagnético es considerado como un simple campo magnético debido a que la longitud de onda correspondiente a las frecuencias utilizadas es mucho mayor que la distancia entre la antena del lector y el *transponder*. Por otro lado, para la transmisión de datos se utilizan los métodos de modulación de carga y modulación de carga con sub-portadora. Ambos son variantes del proceso general de modificar el campo magnético, controlado por los datos a transferir, para lograr el efecto de modulación del voltaje del lado receptor.

En el acoplamiento electromagnético, a diferencia del acoplamiento inductivo, no se hace uso de la modulación del campo generado por el dispositivo lector sino que ocurre el fenómeno de *backscatter*. Este método de comunicación involucra ondas electromagnéticas por lo que no constituye un verdadero método de acoplamiento. Una pequeña parte de la potencia emitida por la antena del lector, alcanza la antena del transpondedor. Este último emplea esta energía para alimentar su circuito interno, y refleja una señal modulada para la transmisión de datos (*backscatter* modulado). Finalmente, una pequeña proporción de la potencia de esta señal alcanza la antena del lector y es interpretada.

## 2.2 Transpondedor

La función básica de un transpondedor es almacenar y transmitir datos al lector sin contacto físico mediante ondas de radiofrecuencia. Este dispositivo puede ser referido mediante varios términos, entre ellos: etiqueta o *tag* en inglés y *transponder*. Esta última palabra deriva de la funcionalidad propia del elemento: responder transmitiendo ante un requerimiento.

Existen diferentes modelos de etiqueta RFID que se diferencian según el mecanismo de almacenamiento de datos, el tipo de comunicación utilizada para transmitir la información, la fuente de energía, el formato de construcción y otros parámetros.

De todas maneras, una etiqueta RFID cuenta con los componentes básicos que se presentan en la Fig. 5 y se explican a continuación:

- Chip o circuito integrado: encargado de llevar a cabo la comunicación entre los elementos del sistema RFID y almacenar la información.
- Antena: captura las ondas de radio y difunde por el mismo medio la información contenida en el chip. El tamaño de la antena determina el rango de lectura de la etiqueta.
- Sustrato: material que mantiene el chip y la antena juntos y los protege.

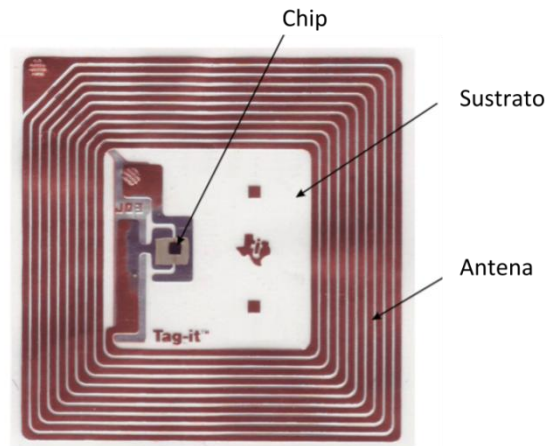


Fig. 5. Transpondedor

La forma de suministrar energía al *tag* constituye una de las características distintivas más importantes de un sistema completo RFID. Como se mencionó en la sección 2.1.2, es posible diferenciar entre etiquetas pasivas y activas. Las primeras toman toda la energía necesaria para su funcionamiento del campo electromagnético generado por el lector, por lo que no requieren de una fuente de alimentación propia. Por otro lado, las etiquetas activas se valen de la modulación de dicho campo electromagnético sólo para la transmisión de datos, pero poseen una batería para la alimentación del chip.

En comparación, los *tags* pasivos son de menor tamaño, más económicos y de mayor vida útil que los activos. Sin embargo, estos últimos ofrecen un mayor rango de alcance e incluyen la posibilidad de agregar sensores útiles para ciertas aplicaciones.

Otra clasificación posible es de acuerdo a la capacidad de la etiqueta RFID, es decir la cantidad de información que es capaz de almacenar la memoria interna. El tipo de memoria también es considerado como distintivo, con diferenciación entre memoria de lectura y escritura o sólo lectura.

Finalmente se puede distinguir a los transpondedores según su formato de construcción, por ejemplo: encapsulado de vidrio o plástico, en forma de moneda, llaveros, tarjeta, etiqueta adhesiva, entre otros. En la Fig. 6 se muestra una representación de los distintos tipos y formatos de *tags*.



Fig. 6. Tipos y formatos de *tags*

## 2.3 Lector

La función del lector es enviar la señal de radiofrecuencia en un radio de acción determinado. El objetivo es detectar todas las etiquetas que se encuentran dentro de ese radio y entablar comunicación.

Por medio de la antena, el lector envía información codificada a través de ondas de radiofrecuencia. El circuito receptor que existe en la etiqueta debe ser capaz de detectar el campo modulado y posteriormente decodificar la información. Utilizando su propia antena, el *tag* debe enviar una señal en dirección al lector a modo de respuesta.

Mediante los lectores RFID se recoge la información de las etiquetas y se la transfiere a una capa de gestión superior, que consiste de un software de gestión, llamado *middleware*.

El lector es la pieza fundamental de todo el hardware RFID, por lo que la interacción y el control de este componente es una de las tareas más importante de cualquier sistema de identificación por radiofrecuencia.

Típicamente un lector contiene una interfaz de radiofrecuencia formada por un transmisor y un receptor, una unidad de control y un elemento de acoplamiento con el transpondedor. Además, cuenta con una interfaz para habilitar la comunicación de datos con otro sistema, por ejemplo un ordenador.

El diagrama en bloques del lector se muestra en la Fig. 7.

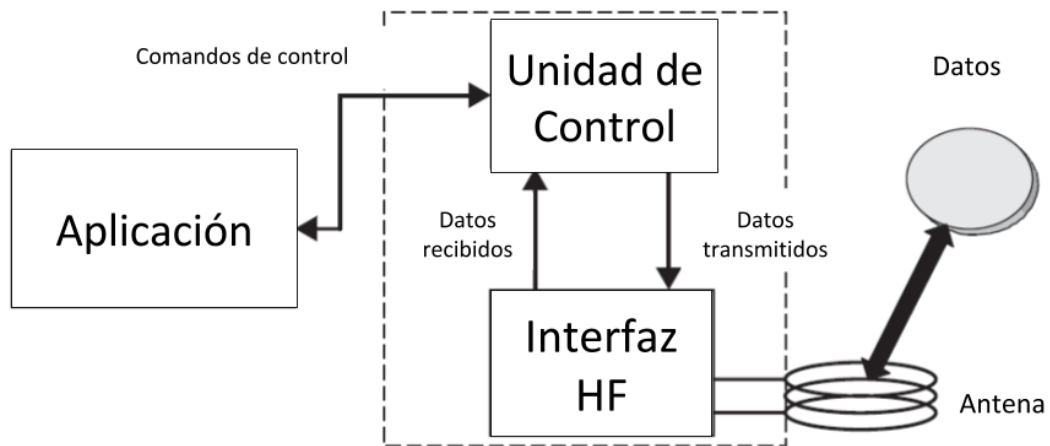


Fig. 7. Diagrama en bloques del lector

La interfaz de radiofrecuencia del lector debe realizar las siguientes funciones:

- Generar la señal de radiofrecuencia necesaria para activar el transpondedor y suministrarle energía.
- Modular la señal de transmisión por la cual se envían los datos al transpondedor.
- Recibir y demodular la señal de radiofrecuencia proveniente del *tag*.

La unidad de control es la encargada de las siguientes funciones:

- Comunicación con la aplicación software y ejecución de los comandos provenientes de la misma.
- Control de la comunicación con el transpondedor.
- Codificación y decodificación de señal.

Al momento de elegir un lector es necesario evaluar ciertos factores importantes, dependiendo de la aplicación a realizar. Algunos de estos son:

- Selectividad: el lector debe ser capaz de detectar la señal emitida por el *tag*, y escoger entre numerosas señales en el mismo entorno.
- Dinamismo: el lector debe ser capaz de recibir y administrar varias respuestas al mismo tiempo.
- Sensibilidad: rango en el que puede detectar señal.

## 2.4 Antena

Cualquier conductor que presente tensión o en el que circule corriente, genera la radiación de ondas electromagnéticas. En contraste a estos efectos, que tienden a ser parásitos, una antena es un componente en el que la radiación o recepción de ondas electromagnéticas se encuentra optimizado. Esta optimización se logra para determinados rangos de frecuencia a través de la sintonización, en base a las propiedades del diseño. De esta manera, el comportamiento de una antena está definido matemáticamente y es predecible de forma precisa.

Las antenas son el elemento de acoplamiento entre la etiqueta y lector.

La antena de la etiqueta se utiliza para extraer la energía de la señal del lector y activar el *tag* para enviar y recibir datos. Está se encuentra físicamente adjunta al microchip.

La geometría de la antena es fundamental para las operaciones de la etiqueta. La longitud de la antena del *tag* es generalmente mucho mayor que el tamaño del microchip y, por lo tanto, determina las dimensiones físicas del transpondedor.

Los factores más importantes relacionados con el diseño son:

- Distancia de lectura.
- Sensibilidad a la orientación (ángulo de apertura).
- Densidad de potencia radiada.
- Ganancia.
- Características del entorno (metal, líquido, madera...).
- Polarización de la onda emitida.
- Especificaciones concretas del objeto a etiquetar.

Por otro lado, la antena del lector se encarga de emitir la señal de radiofrecuencia y recibir las ondas provenientes de la etiqueta. El patrón de radiación hace referencia a la dirección y potencia con que se envía la señal. A partir de esta característica es posible calcular la cobertura y así evitar solapamientos con los rangos de lectura de otras posibles antenas. La legibilidad del *tag* depende de la correcta polarización de la antena y el ángulo en que la etiqueta se presenta al lector.

## 2.5 Codificación

La Fig. 8 describe un diagrama en bloques de un sistema de comunicación digital RFID.

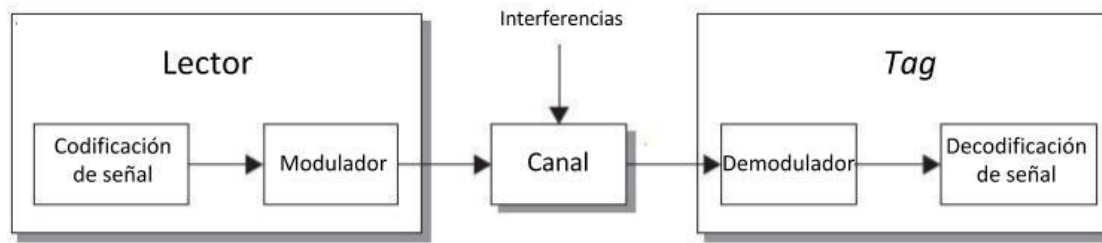


Fig. 8. Sistema de comunicación RFID

El sistema de codificación de la señal es el encargado de tomar el mensaje a transmitir y su representación, y hacerlo óptimo para las características del canal de transmisión. Además, este proceso implica proporcionarle al mensaje cierto grado de protección contra interferencia o colisión y contra la modificación intencional de ciertas características de la señal.

La modulación es el proceso de alterar los parámetros de la señal portadora de alta frecuencia, es decir, su amplitud, frecuencia o fase, en relación con una señal moduladora. Todos los procedimientos de modulación digital conocidos son usados para la transferencia de datos. Los tres procedimientos básicos son:

- ASK: *amplitude shift keying*, modulación por desplazamiento de amplitud.
- FSK: *frequency shift keying*, modulación por desplazamiento de frecuencia.
- PSK: *phase shift keying*, modulación por desplazamiento de fase.

El medio de transmisión es el encargado de transmitir el mensaje a una distancia predeterminada. El único medio utilizado en sistemas RFID es el medio inalámbrico y la interacción es por medio de campos magnéticos, conocido como acoplamiento inductivo, y ondas electromagnéticas en el caso de microondas.

La demodulación es el procedimiento inverso al de modulación, con el fin de recuperar la señal en banda base. Generalmente es necesario transmitir y recibir en ambas direcciones por lo que estos componentes contienen tanto un modulador como un demodulador.

La tarea de decodificación es reconstruir el mensaje original a partir de la señal recibida codificada en banda base y reconocer cualquier error de transmisión para su control.

Un sistema RFID normalmente usa uno de los siguientes procedimientos de codificación: NRZ, Manchester, Unipolar RZ, DBP (*differential bi-phase*), Miller, *differential coding on PP (pulse pause) coding*. En la Fig. 9 se muestra un diagrama de los distintos tipos.

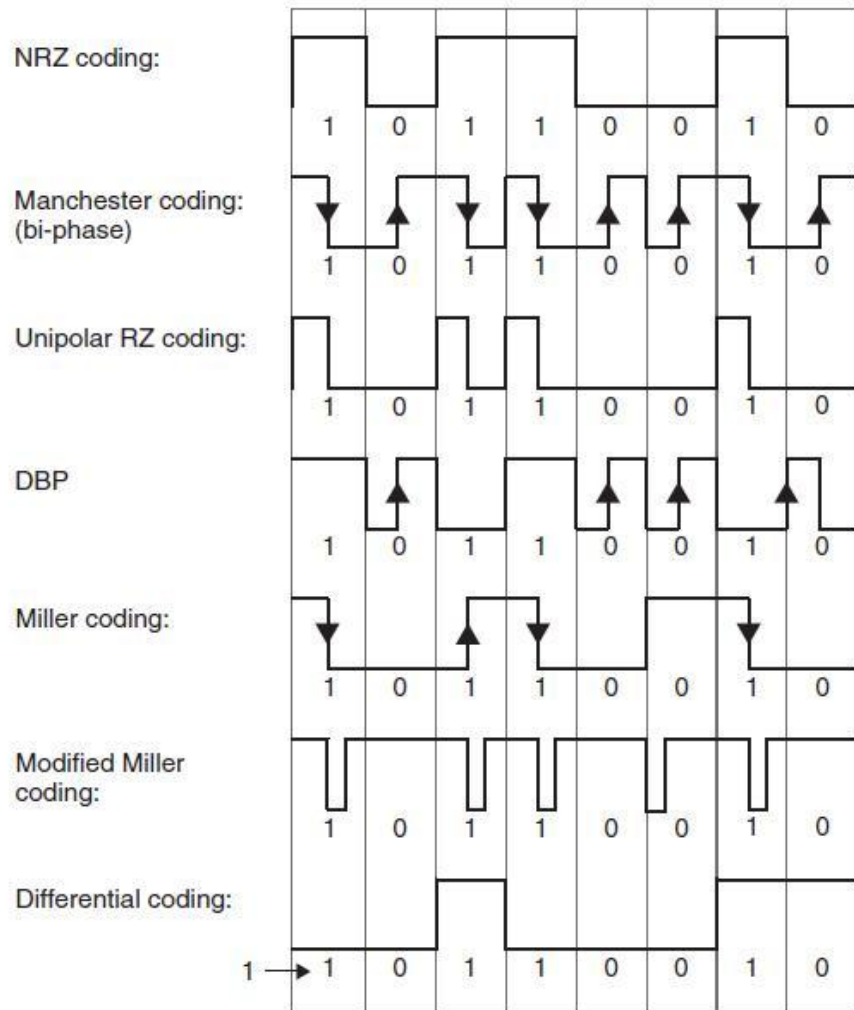


Fig. 9. Tipos de codificación

Varias condiciones se deben tener en cuenta al seleccionar un sistema de codificación de señal adecuado para un sistema RFID. La consideración más importante es el espectro de la señal después de la modulación y la susceptibilidad a errores de transmisión.

Además, en el caso de los transpondedores pasivos, la fuente de alimentación no debe ser interrumpida por una combinación inadecuada de codificación de señales y procedimientos de modulación.

## 2.6 Estándares

Los estándares tienen la finalidad de ofrecer orientación, coordinación, simplificación y unificación de criterios a las empresas y organizaciones, con respecto a sus productos y servicios.



De esta forma, permiten homogeneizar sus características y parámetros de calidad y seguridad. Además, los estándares permiten disponer de soluciones interoperables, garantizando el uso y la implementación de una determinada tecnología por parte de diferentes fabricantes.

El desarrollo de estándares es responsabilidad del comité técnico de diferentes institutos de normalización. Varias organizaciones desarrollaron estándares para la tecnología RFID, entre ellas: ISO (*International Organization for Standardization*, Organización Internacional de Normalización), IEC (*International Electrotechnical Commission*, Comisión Electrotécnica Internacional), ASTM International, DASH7 Alliance y EPCGlobal.

### **2.6.1 Organizaciones de Estandarización**

ISO es una organización internacional no gubernamental e independiente, constituida por 163 organismos nacionales de estandarización. Fue fundada en 1947 y tiene su sede en Ginebra, Suiza. A través de sus miembros, comparte conocimientos y provee soluciones para los desafíos globales. ISO desarrolla estándares internacionales cubriendo diversos productos y servicios, de modo que sean seguros, fiables y de calidad.

IEC es una organización de normalización en los campos eléctrico, electrónico y tecnologías relacionadas. Está constituida por 83 organismos nacionales de estandarización de las áreas detalladas. Fue fundada en 1906 y tiene su sede en Ginebra, Suiza. IEC provee a distintas compañías, industrias y gobiernos una plataforma de discusión y desarrollo de estándares internacionales. Numerosas normas se desarrollan en conjunto entre ISO y IEC, dando lugar a las normas ISO/IEC.

Por otro lado, EPCglobal es una iniciativa para la innovación, desarrollo y adopción de estándares para la tecnología EPC. EPCglobal fue formada en 2003 como una organización sucesora del Auto-ID Center del MIT. Se encarga de administrar tanto la red como los estándares EPC. Estos últimos buscan dar apoyo y sustento al uso de la tecnología de identificación por radiofrecuencia, a través de dos áreas: *tags* EPC/RFID y Servicios de Información EPC.

### **2.6.2 Estándares RFID**

Existen una gran cantidad y variedad de estándares relacionados a los sistemas RFID, tanto por su objeto de normalización como por la organización que los desarrolla. A continuación se enumeran un conjunto de normas según el tipo de aplicación de la tecnología.

#### Identificación animal:

- ISO/IEC 11784: Identificación por radiofrecuencia de animales (134.2 KHz) – Estructura del código.
- ISO/IEC 11785: Identificación por radiofrecuencia de animales (134.2 KHz) – Conceptos técnicos.

- ISO/IEC 14223: Identificación por radiofrecuencia de animales – Transpondedores avanzados.

#### Tarjetas inteligentes sin contacto:

- ISO/IEC 10536: Tarjetas de identificación de acoplamiento cercano (13.56 MHz) – Estructura y parámetros de operación.
- ISO/IEC 14443: Tarjetas de identificación de acoplamiento remoto (13.56 MHz) – Métodos y parámetros de operación.
- ISO/IEC 15693: Tarjetas de identificación de acoplamiento lejano (13.56 MHz) – Métodos y parámetros de operación.

#### Gestión de artículos

- ISO/IEC 15961: RFID para administración de artículos - Comandos funcionales y características de sintaxis.
- ISO/IEC 15962: RFID para administración de artículos - Sintaxis de datos.
- ISO/IEC 15963: RFID para administración de artículos - Identificación única del *tag*.
- ISO/IEC 18000: RFID para administración de artículos (135 KHz, 13.56 MHz, 433 MHz, 860 a 960 MHz, 2.45 GHz) - Interfaz aérea.
- ISO/IEC 18001: RFID para administración de artículos - Requerimientos para la aplicación.
- EPCGlobal UHF Class 1 Generation 2: Requerimientos físicos y lógicos para sistemas RFID de lectores y transpondedores pasivos (860 a 960 MHz) - Interfaz aérea.

En este proyecto, para el lector RFID se utilizó el circuito integrado MFRC522, el cual soporta la norma ISO/IEC 14443 A/ y la tecnología MIFARE.

MIFARE es una marca de NXP *Semiconductors* especializada en el desarrollo de circuitos integrados y módulos lectores con soporte de la norma ISO/IEC 14443 A. Esta tecnología es ampliamente usada en aplicaciones RFID debido a que los circuitos integrados MIFARE son usados en la mayoría de las tarjetas inteligentes sin contacto del mercado.

La norma ISO/IEC 14443 se divide en cuatro partes:

- ISO/IEC 14443 – 1: Características físicas.
- ISO/IEC 14443 – 2: Radiofrecuencia y potencia de la señal de interfaz.
- ISO/IEC 14443 – 3: Inicialización y anticolisión.
- ISO/IEC 14443 – 4: Protocolo de transmisión.

### Estándar 14443 – 1

Define las características físicas que deben poseer las PICC (*Proximity Integrated Chip Card*, Chip de Proximidad). Estas características se basan principalmente en las particularidades de la antena, requisitos adicionales de acuerdo a la tarjeta y campo magnético. Por ejemplo, la antena de una PICC clase 1 se encuentra dentro de una zona definida por dos rectángulos como lo muestra la Fig. 10.

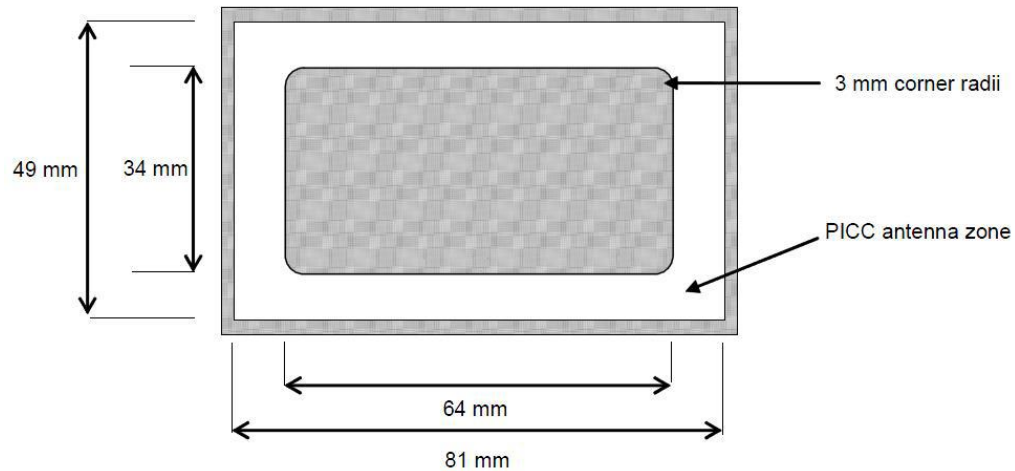


Fig. 10. PICC

### Estándar 14443 – 2

Especifica las características de los campos que deben ser generados para permitir el suministro de potencia y la comunicación bidireccional entre PICC y PCD (*Proximity Coupling Device*, Dispositivo de Acoplamiento de Proximidad). Existen dos procedimientos de comunicación completamente distintos, Tipo A y Tipo B. El transpondedor sólo debe soportar uno de los dos tipos, mientras que un lector conforme al estándar debe ser capaz de establecer ambos procedimientos de comunicación.

Los distintos tipos de procedimientos y sus propiedades se muestran en la Tabla 2.

| PCD →PICC    | Tipo A            | Tipo B  | PICC →PCD    | Tipo A                               | Tipo B                               |
|--------------|-------------------|---------|--------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Modulación   | ASK 100%          | ASK 10% | Modulación   | Modulación de carga con subportadora | Modulación de carga con subportadora |
| Codificación | Miller modificado | NRZ     | Codificación | Manchester                           | NRZ                                  |
| Baud Rate    | 106 kBd           | 106 kBd | Baud Rate    | 106 kBd                              | 106 kBd                              |

Tabla 2. Procedimientos de comunicación

### Estándar 14443 – 3

Si una tarjeta de identificación entra en la zona de interrogación de un lector, se inicia una comunicación teniendo en cuenta la posible presencia de otras tarjetas. Por lo tanto, este documento describe la estructura de las tramas (bits de datos, comienzo y fin) y el procedimiento de anticollisión empleado para la selección de un único *tag*. Debido a los diferentes procedimientos de modulación de los tipos A y B, también se definen distintas estructuras de tramas y procesos de anticollisión.

### Estándar 14443 – 4

Especifica un protocolo de transmisión half-duplex por bloques con las necesidades especiales de un entorno sin contacto y define la secuencia de activación y desactivación del protocolo. De esta manera, describe la estructura de datos necesarios y el procesamiento de transmisión de errores, con el fin de establecer una comunicación sin errores.

## **2.7 Usos de la tecnología RFID**

Las aplicaciones actuales de la tecnología RFID son inmensas y con un gran potencial de crecimiento a futuro. El uso de sistemas de identificación por radiofrecuencia se encuentra en muchos sectores de la industria, el comercio y los servicios a nivel mundial. Además, las prestaciones que brinda son complementarias a otras técnicas de captura de datos, para satisfacer los requisitos particulares de ciertas aplicaciones.

Un *tag* RFID puede ser adherido y usado para seguir, administrar y controlar inventario, bienes, personas, entre otras aplicaciones. A partir de esto surgen varias utilidades de la tecnología, siendo las principales áreas de desarrollo transporte, logística y seguridad. A continuación, se diferencia entre identificación por radiofrecuencia de objetos y personas o animales, explicando los usos más importantes de cada una.

### **2.7.1 Identificación de objetos**

#### Logística:

Una de las principales aplicaciones que se está dando actualmente a RFID en el mundo consiste en la trazabilidad de objetos y gestión del inventario. La trazabilidad consiste en el conjunto de procedimientos que permiten seguir la ubicación y trayectoria de un producto a través de las etapas de producción, transformación y distribución. O sea, con el etiquetado RFID, se logra controlar y administrar el stock y los abastecimientos.

Por ejemplo, en supermercados o tiendas comerciales se utilizan etiquetas RFID en los pallets para controlar la mercadería proveniente de los proveedores y en artículos individuales para evitar hurtos. También las plantas de manufactura realizan seguimiento de las partes del producto a través de las etapas de fabricación, para reducir los defectos y aumentar el rendimiento. Por otro lado, las empresas de distribución y logística emplean sistemas RFID en sus establecimientos, para reconocimiento, localización y prevención del hurto de sus bienes.

#### Sistemas de pago:

La tecnología RFID se estableció como un mecanismo alternativo de pago para distintos servicios. En primer lugar, el pago automático de peajes es utilizado en las autopistas para realizar el abono del trayecto, sin necesidad de detener el vehículo. Esto se logra a través de un dispositivo colocado en el automóvil y otro dispositivo de lectura situado en las estaciones de peaje. Automáticamente se gestiona la apertura de la barrera de seguridad y el pago, gracias a la identificación del vehículo. Además, las tarjetas RFID son utilizadas para permitir el acceso al servicio de diferentes medios de transporte, como autobuses, subterráneos y trenes. Finalmente, diversas empresas se encuentran experimentando el uso de esta tecnología para adoptarla en sus tarjetas de crédito y débito.

#### Bibliotecas:

Se utiliza para catalogar, ordenar y proteger los libros. Tiene como fin fundamental transmitir la identidad de los mismos a través de un sistema de almacenamiento y recuperación de información. De esta forma, puede oficial como un método de administración de inventario, dispositivo de seguridad y/o sistema de autoservicio.

### **2.7.2 Identificación de personas o animales**

#### Control de acceso y control de asistencia:

Los sistemas de control de acceso electrónico son utilizados para chequear automáticamente la autorización de entrada y salida de individuos a establecimientos comerciales o empresariales, edificios, habitaciones individuales, eventos, entre otras. Empleando *tags* RFID en forma de, por ejemplo, tarjetas o llaveros, una persona puede acceder a cierto lugar sosteniéndolo

a determinada distancia del lector. Es posible diferenciar entre dos tipos de control de acceso: sistemas *online* y sistemas *offline*.

En los sistemas *online*, todas las terminales lectoras de acceso están conectadas a un ordenador central por medio de una red. La computadora central administra una base de datos, en la que se asignan los códigos de identificación autorizados para cada terminal.

En cambio, en los sistemas *offline* cada dispositivo lector almacena una lista de identificadores autorizados a acceder al entorno seguro en cuestión. Actúan de manera individual, es decir, no existe una red de comunicación entre terminales o a un ordenador central.

Junto con el control de acceso, el control de asistencia constituye uno de los usos más importantes de la tecnología de identificación por radiofrecuencia. A través de un sistema RFID compuesto por un lector, transpondedores y una computadora que se encargue de la administración de datos, es posible mantener el registro de fecha y hora en que un individuo ingresa o egresa de un establecimiento. Esto se logra asociando a cada persona con un código de identificación único y actualizando permanentemente la base de datos. Un control de asistencia resulta imprescindible en las empresas, con el fin de administrar sus recursos humanos.

#### Salud:

En el ámbito sanitario, es posible utilizar la identificación por radiofrecuencia para controlar los movimientos de los pacientes en el hospital, inspeccionar los accesos a zonas seguras y localizar al personal sanitario en casos de necesidad o urgencia. Además, mediante el uso de etiquetas RFID se puede identificar a los pacientes, controlar sus respectivos casos clínicos y horarios, administrar sus prescripciones médicas y medicamentos, y guardar toda esta información en sus historias clínicas. Finalmente, la aplicación de la tecnología en hospitales se puede complementar mediante el registro del suministro de medicamentos, evaluar reabastecimiento de los mismos e identificar los activos de la institución.

#### Animales:

El uso de *tags* RFID en animales es uno de las aplicaciones más antiguas de la tecnología. Se puede dividir entre identificación de ganado y de mascotas. Por un lado, existen diferentes tipos de transpondedores para identificar ganado, ya sean collares, de oreja o que se pueden implantar. La finalidad es el rastreo del animal, la alimentación automática y el control de epidemias, para asegurar la calidad y productividad. Por otra parte, se utilizan las técnicas de RFID para la identificación de mascotas mediante la implantación subcutánea de un microchip portador de un código numérico único. El código de identificación se corresponde con el de un registro en el que figuran los datos relativos al animal y al propietario, así como los tratamientos sanitarios.

## 2.8 Beneficios

La identificación por radiofrecuencia ofrece muchos beneficios, no sólo en comparación con otros sistemas de Auto ID, sino a partir del desarrollo de aplicaciones más sofisticadas que se valen de esta tecnología. Entre las ventajas más destacadas de la tecnología RFID se encuentran:

- Identificación unívoca de un individuo u objeto. El código único de cada *tag* evita la copia o falsificación de los mismos.
- Las etiquetas RFID no requieren de contacto directo para su lectura. Según las características de la comunicación y del estándar empleado, pueden ser detectadas a diferentes distancias.
- Gran volumen de almacenamiento de datos mediante un mecanismo de reducidas proporciones. Por un lado, las etiquetas RFID pueden almacenar su número de identificación e información relevante, según la capacidad de memoria disponible. Además, es posible el desarrollo de una base de datos asociada para ampliar la información del sistema.
- Actualización sencilla de los datos guardados en la etiqueta, en el caso de que ésta sea de lectura/escritura.
- Capacidad de lectura múltiple de transpondedores al mismo tiempo.
- Funcionamiento asegurado y mayor durabilidad en el caso de condiciones adversas, como suciedad, humedad, temperaturas elevadas, entre otras. Esto permite que no sea necesario el mantenimiento continuo.
- Ciertos tipos de etiquetas RFID poseen funciones de identificación con autenticación, lo que representa un grado más de seguridad.
- Capacidad de incorporar sensores al sistema RFID, con el fin de almacenar la información obtenida a partir de éstos.
- Existe una gran cantidad y variedad de estándares RFID, cada una de los cuales especifica diferentes características de comunicación y detallan distintos tipos de transpondedores, entre otros aspectos. Esto permite seleccionar qué opción se adecúa a cada aplicación, de modo de obtener los máximos beneficios de esta tecnología.
- Adaptabilidad a múltiples sectores, aportando beneficios específicos a cada uno.

## 2.9 Inconvenientes

La tecnología RFID posee ciertas limitaciones, que pueden ser diferenciadas entre problemas técnicos y determinadas controversias que genera en la sociedad. Por un lado, se encuentran los inconvenientes intrínsecos de la identificación por radiofrecuencia y de las

características del entorno en que opera el sistema. Por otra parte, están las reticencias y críticas originadas en torno a los riesgos en cuanto a privacidad y seguridad.

- Rendimiento bajo con objetos absorbentes: dependiendo del material al cual se halle asociado el *tag* y de la frecuencia de operación del sistema, pueden ocurrir errores en la lectura. Debido a efectos no deseados como absorción, reflexión o propagaciones complejas, son posibles fallas parciales o totales al leer el transpondedor.
- Impacto del entorno operativo: existen dispositivos, entornos y elementos que pueden crear interferencias en las señales de radiofrecuencia, generalmente en ambientes industriales.
- Privacidad: muchas de las controversias más grandes surgen alrededor del uso de RFID en productos y tarjetas de identificación. Un *tag* adherido a un objeto puede permanecer funcional después de la venta y ser utilizado maliciosamente para recolectar información sin consentimiento. Además, algunas organizaciones detractoras de la tecnología argumentan que, mediante lectores fácilmente adquiribles o realizables, es posible acceder a datos valiosos.
- Estandarización global: las frecuencias usadas para la tecnología RFID son incompatibles entre algunos países, es decir que no existe un estándar de uso universal. Esto está acompañado a la inexistencia de un órgano global regulador de la identificación por radiofrecuencia.
- Salud: diversos estudios científicos demuestran que los chips implantables pueden producir tumores en el cuerpo humano o animal. Además, la implantación de RFID en personas tiene implicaciones éticas muy importantes.
- Costos: el precio de las etiquetas pasivas aún es elevado para que algunas empresas justifiquen su aplicación. El costo de las etiquetas activas es mucho mayor y un estudio muy fino de la aplicación final debe ser desarrollado antes de su implementación.

## 2.10 Recomendaciones

Debido a los inconvenientes anteriormente mencionados surge la necesidad de tener ciertos cuidados en el uso de RFID. Con el fin de respetar el derecho a la protección de datos, los usuarios deben conocer la tecnología e interesarse por el uso que se hará de la misma.

Para evitar el acceso indeseado a la información de un sistema RFID, existen ciertas medidas de prevención:

- Etiquetas *watchdog* (perro guardián): informan de intentos de lectura y escritura en su área de influencia.



- Aislamiento: consiste en introducir la etiqueta en una funda de material metálico o plástico, para evitar la lectura de las etiquetas en momentos no deseados.
- Firewall RFID: son dispositivos que crean una zona segura mediante la emisión de ondas que anulan la efectividad de lecturas externas. También se denominan inhibidores de radiofrecuencia.

Además de los cuidados por parte de los usuarios, es posible mejorar las características técnicas del sistema RFID. Estos métodos ofrecen soluciones que permiten reforzar la seguridad del mismo. Dentro de estos procedimientos se encuentran:

- Renombrado: evita la suplantación de una etiqueta o ataques similares. Ciertas etiquetas RFID contienen un conjunto de pseudónimos de modo que emite uno diferente cada vez que es interrogada por el lector. De esta forma, un lector malicioso que quisiera suplantar la etiqueta tendría que conocer todos los pseudónimos.
- Cifrado: Los procedimientos de cifrado son usados como protección ante ataques. Para lograr esto, los datos transmitidos son alterados (cifrados) previamente por medio de un algoritmo determinado. El receptor, conociendo el algoritmo, es capaz de interpretar los datos. De esta manera, se impide que lectores no autorizados puedan entender la información enviada. Los algoritmos de cifrado a usar no son los clásicos sino que los crea el fabricante, ya que la capacidad de procesamiento de las etiquetas es limitada. Esto puede representar un problema ya que, al ser propietarios, no son públicos ni han sido sometidos a prueba por la comunidad de investigadores de la Criptografía.

La Fig. 11 muestra un esquema sencillo de un proceso de encriptación.

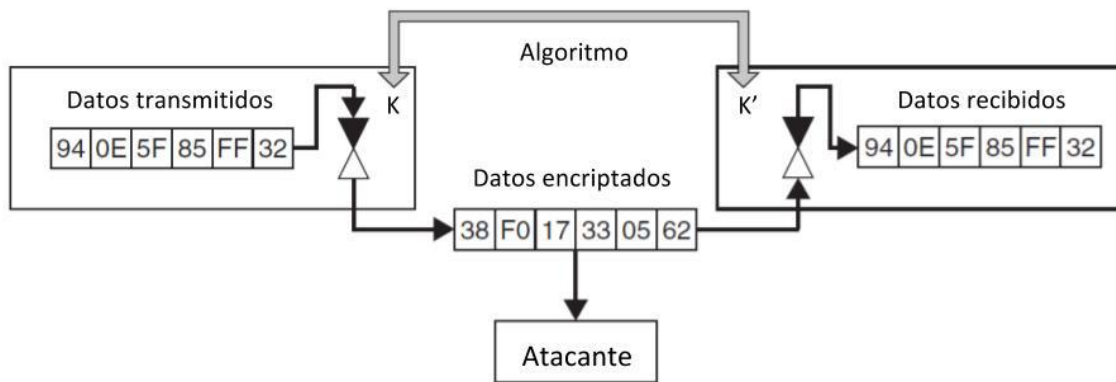


Fig. 11. Encriptación

- Autenticación: evita la falsificación de lectores y etiquetas, debiéndose introducir una clave secreta para validar la comunicación. De esta manera, se impide la intromisión de elementos ajenos.
- Reducción de la información contenida en las etiquetas: sólo se graba en la etiqueta un único código identificador. El resto de la información sensible se almacena en un servidor central, asociada a dicho código, minimizando el riesgo de reescritura.

# CAPÍTULO 3

## Descripción del Equipo

El propósito fundamental de este proyecto consiste en el desarrollo de un sistema RFID para el registro del personal de una organización. Éste debe ser capaz de registrar a todos los trabajadores de la empresa y dejar asentado tanto su horario de ingreso como de egreso. Luego, por medio de una interfaz gráfica, el administrador deberá poder extraer dicha información de una base de datos para su posterior análisis.

En base a estos lineamientos, se subdividió el proyecto en dos partes: una parte hardware y otra de software. En este capítulo se describe el sistema desarrollado en hardware encargado de la lectura, almacenamiento y transferencia de datos, valiéndose de varias tecnologías. El mismo cuenta con un micro-controlador encargado de realizar todas las operaciones para cumplir los requerimientos del equipo. Éste se encarga de controlar distintos circuitos integrados y módulos. Cada uno de ellos lleva a cabo diversas tareas, por ejemplo: comunicación RFID, almacenamiento de datos, visualización, registro de fecha y hora y comunicación con el ordenador. En la Fig. 12 se muestra un diagrama general del sistema propuesto.

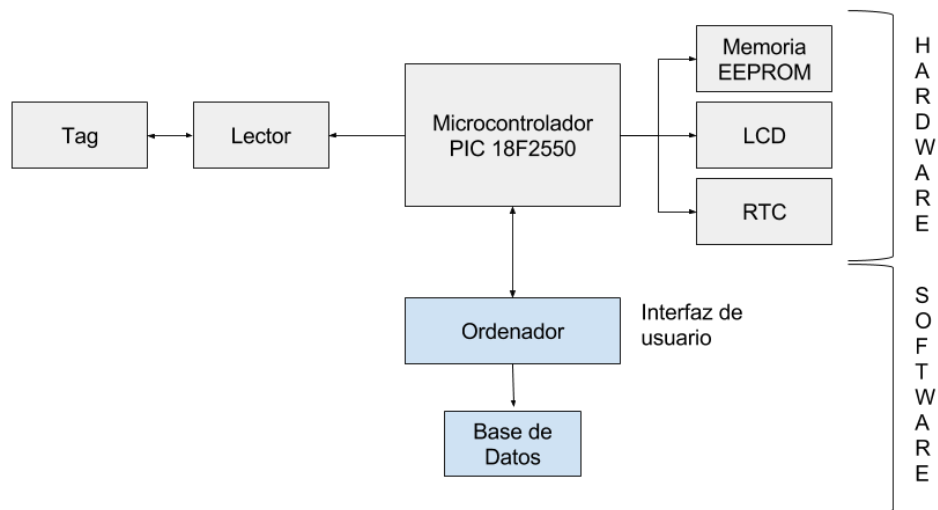


Fig. 12. Diagrama general del sistema

En el diagrama general del sistema se diferencian bloques en color gris y azul que se corresponden con el desarrollo en hardware y en software respectivamente. Por un lado, el micro-controlador es el eje central del sistema, encargado de controlar y manejar las funciones necesarias del equipo. Tanto el lector como el *tag* son los responsables de establecer la comunicación por radiofrecuencia. Para disponer de hora y fecha de manera confiable se hace uso del bloque RTC. Además, los datos adquiridos son almacenados en una memoria EEPROM mientras que el bloque LCD es el nexo entre los empleados de la organización y el equipo. Por su parte, el bloque ordenador se corresponde con la interfaz de administrador, relación entre administrador y el equipo, y se vale de una base de datos para almacenar la información necesaria.

### 3.1 PIC18F2550

El micro-controlador elegido para el desarrollo del equipo fue el PIC18F2550 [4]. Se trata de un micro-controlador de 8-bits fabricado por Microchip Technology Inc.

La elección se basó en que cumple con todos los requisitos pretendidos y es una opción disponible a un precio accesible en el mercado local. Además, se dispuso de todas las herramientas necesarias para su programación (software y programador), por tratarse de un micro-controlador muy utilizado en el Laboratorio de Comunicaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Mar del Plata.

El diagrama de pines del PIC18F2550 se observa en la Fig. 13.

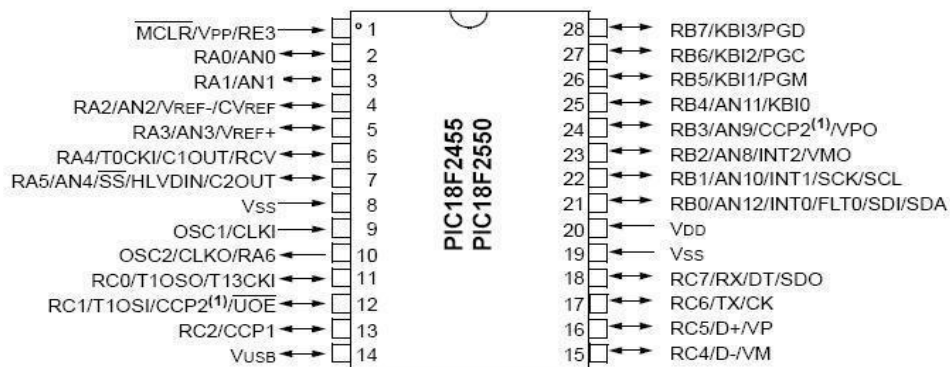


Fig. 13. Diagrama de pines del PIC18F2550

Algunas de las características más importantes del PIC18F2550 son:

- Voltaje de alimentación: 4,2V a 5,5V.

- Pines: 28.
- Memoria tipo FLASH.
- 32 kBytes de memoria de programa.
- 2048 Bytes de memoria RAM.
- 256 Bytes de memoria EEPROM.
- Interfaz USB 2.0 de alta velocidad 12Mbit/s.
- Frecuencia de operación hasta 48 MHz.
- Oscilador interno programable de 31KHz a 8MHz.
- Puertos de comunicación UART/USART, SPI, I2C.
- Periféricos de Captura/Comparación/PWM.
- Temporizadores de 16-bits, 1 temporizador de 8-bits.
- 10 canales ADC de 10 bits.
- Comparadores Analógicos.
- Temporizadores.
- Variedad de interrupciones.

En la Fig. 14 se muestra la arquitectura interna del micro-controlador PIC18F2550.

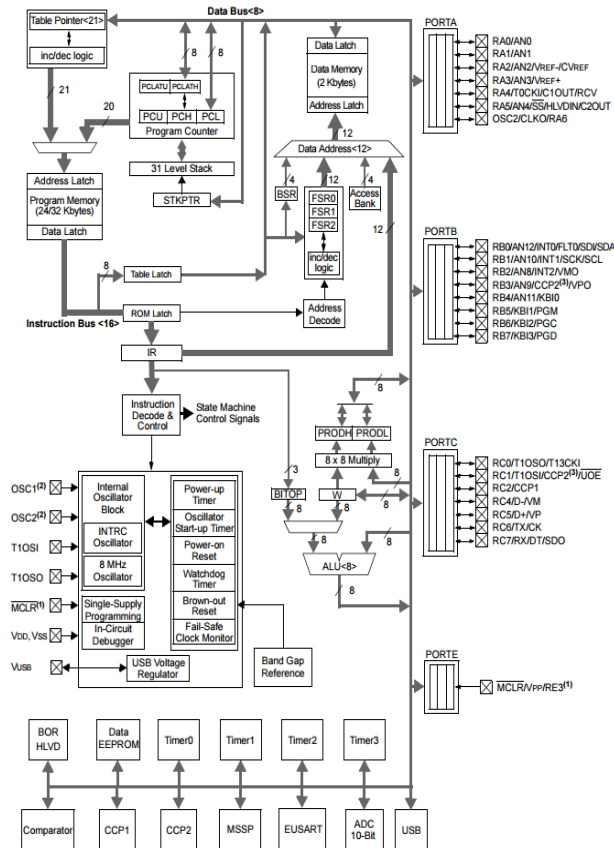


Fig. 14. Arquitectura interna del PIC18F2550

Cada pin del PIC18F2550 se configuró de modo de establecer su función de acuerdo a las necesidades del equipo. Cabe destacar que en la mayoría de sus pines se colocaron conectores tipo postes para otorgarle flexibilidad al momento de agregar hardware adicional.

La manera en que se definió esta configuración se detalla la Tabla 3.

| Número de pin | Configuración       |
|---------------|---------------------|
| 1             | <i>Master Clear</i> |
| 2             | Poste               |
| 3             | Poste               |
| 4             | Poste               |
| 5             | Poste               |
| 6             | Poste               |
| 7             | Poste               |
| 8             | V <sub>SS</sub>     |
| 9             | OSC1                |
| 10            | OSC2                |
| 11            | Poste               |
| 12            | Poste               |
| 13            | Poste               |
| 14            | Poste               |
| 15            | Poste               |
| 16            | Poste               |
| 17            | UART-TX             |
| 18            | UART-RX             |
| 19            | V <sub>SS</sub>     |
| 20            | V <sub>DD</sub>     |
| 21            | Poste               |
| 22            | Poste               |
| 23            | Poste               |
| 24            | Poste               |
| 25            | Poste               |
| 26            | Poste               |
| 27            | PGC y Poste         |
| 28            | PGD y Poste         |

Tabla 3. Configuración establecida de pines del PIC18F2550

- El pin 1 es el *Master Clear*. Permite reiniciar el dispositivo, depurar y programar el mismo. Se utilizó la configuración propuesta en la hoja de datos del PIC18F2550.

- Los pines 8, 19 y 20 son utilizados para alimentación. Los dos primeros corresponden a masa y el último a  $V_{CC}$ .
- Los pines 9 y 10 son para el oscilador externo. En este caso, se empleó un cristal de 20MHz. Además, cada uno de estos pines fue conectado a masa a través de condensadores de 15pF para su correcto funcionamiento.
- Los pines 17 y 18 son los responsables de la comunicación UART. Corresponden a la transmisión y recepción respectivamente. En estos pines se conectó el módulo Bluetooth.
- Los pines 27 y 28, junto con el *Master Clear*, permiten programar y depurar.

En la Fig. 15 se muestra el esquemático de las conexiones realizadas:

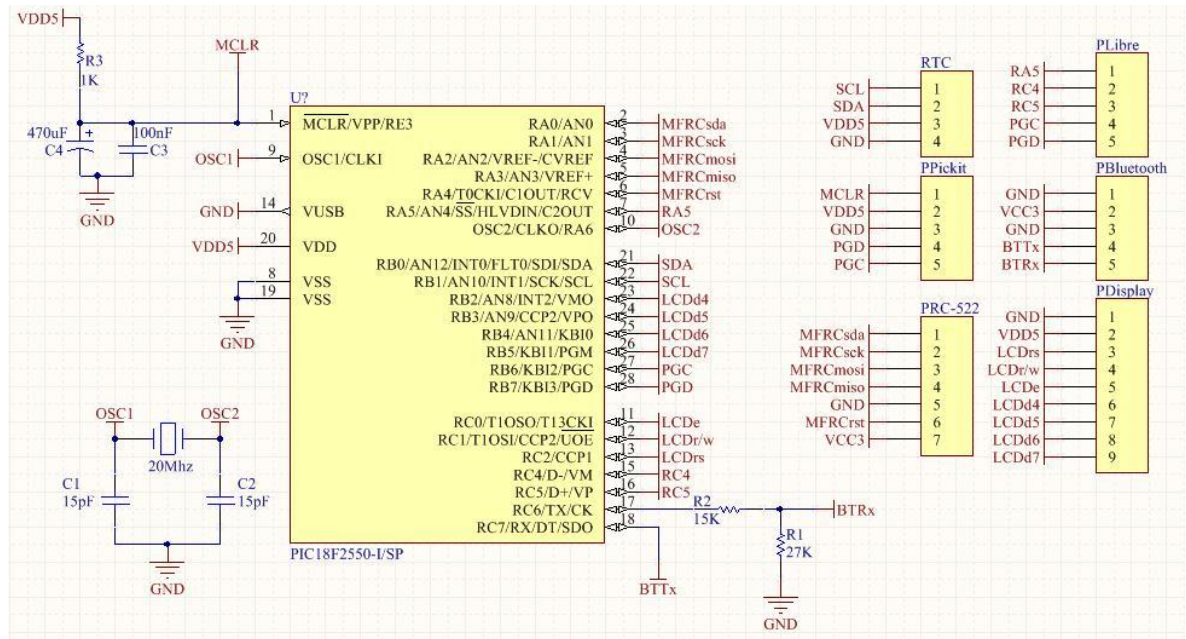


Fig. 15. Esquemático de conexiones

En las siguientes secciones se realiza una descripción del hardware adicional que agrega funcionalidad y herramientas de visualización al equipo. Además, se detallan sus conexiones con el micro-controlador.

### 3.2 RFID

Para la etapa de comunicación por radiofrecuencia, se optó por el módulo RFID-RC522. Éste contiene el chip MFRC522 [5], fabricado por NXP Semiconductors.

El MFRC522 es un circuito integrado de lectura y escritura para comunicación sin contacto (Inalámbrica), a la frecuencia de 13.56 MHz, frecuencia actualmente utilizada por la tecnología RFID.

Su lector soporta el estándar ISO/IEC 14443 A/MIFARE. Se trata del estándar internacional para tarjetas inteligentes sin contacto operando a 13.56 MHz en cercanía de una antena lectora, aproximadamente unos 10 cm. En su primera parte, el protocolo define el tamaño y las características físicas de las tarjetas. Su parte dos presenta los requerimientos de potencia para las tarjetas sin batería y la interfaz de señal. Se trata de esquemas de señalización half-duplex con idéntica velocidad en cada sentido. En la tercera parte, el protocolo describe el mecanismo anticolidión y el proceso de inicialización. Es interesante destacar que las tarjetas responden a comandos de requerimiento (*polling*) como método organizado para evitar la colisión. Por último, la cuarta parte define los protocolos de transmisión opcionales para las tarjetas de proximidad.

El transmisor interno del MFRC522 está preparado para manejar una antena diseñada para comunicarse con los transpondedores, sin circuitos activos adicionales. Por otro lado, el bloque receptor provee una implementación robusta y eficiente para la demodulación y decodificación de señales provenientes de los *tags* compatibles. El módulo digital administra las tramas del estándar ISO/IEC 14443 A y la funcionalidad de detección de errores, que puede ser por detección de código de paridad o código cíclico (CRC).

Las principales características que presenta el MFRC522 son:

- Circuito analógico altamente integrado para demodular y decodificar las respuestas.
- Controladores de salida para conectar una antena con el mínimo número de componentes externos.
- Soporte ISO/IEC 14443 A/MIFARE y NTAG.
- Distancia de funcionamiento típica en modo lectura/escritura de hasta 50 mm, dependiendo del tamaño de la antena y la sintonía.
- Soporta cifrado MF1xxS20, MF1xxS70 y MF1xxS50 en modo lectura/escritura.
- Velocidad de transferencia de hasta 848 kBd.
- Soporta MFIN/MFOUT.
- Interfaces de host soportadas: SPI, I<sup>2</sup>C y RS232 serial UART.
- Buffer FIFO de 64 bytes para enviar y recibir.
- Modos de interrupción flexibles.
- Apagado por modo de software.
- Temporizador programable.
- Oscilador interno para conexión a cristal de cuarzo de 27.12 MHz.
- Fuente de alimentación de 2.5V a 3.3V.
- Coprocesador CRC.
- Pines de entrada/salida programables.



El bloque simplificado del circuito integrado MFRC522 se muestra en la Fig. 16.

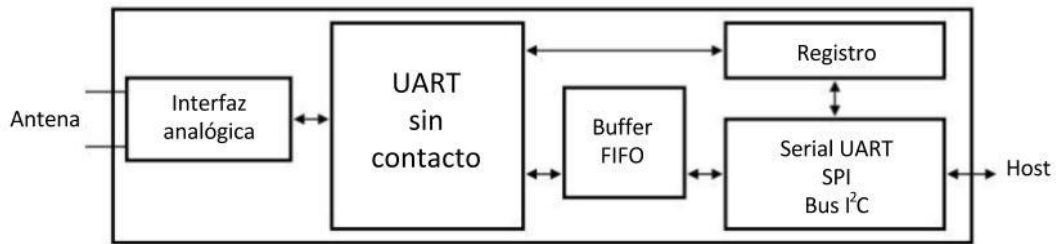


Fig. 16. Bloque simplificado del MFRC522

La interfaz analógica se encarga de la modulación y demodulación de las señales analógicas. El bloque UART sin contacto administra los requerimientos de los protocolos de comunicación, en cooperación con el ordenador. El buffer FIFO asegura una rápida y confiable transferencia de datos entre el ordenador y la UART sin contacto. Finalmente, para satisfacer diferentes aplicaciones, se implementan diferentes interfaces con el ordenador.

En la Fig. 17 se observa la imagen del módulo RFID-RC522 elegido para lectura y grabación de *tags*.

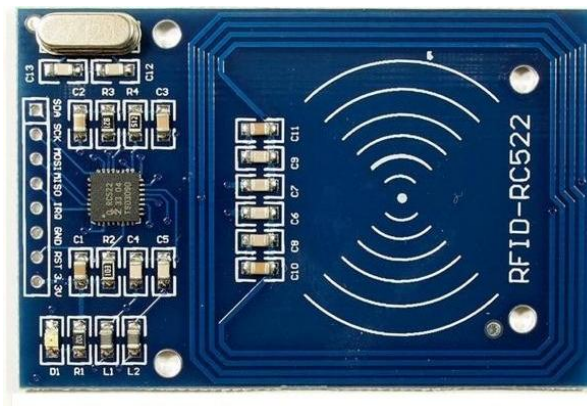


Fig. 17. Módulo RFID-RC522

Los pines y su función se muestran en la Tabla 4.

| Símbolo | Función      |
|---------|--------------|
| SDA     | Comunicación |
| SCK     |              |

|      |                         |
|------|-------------------------|
| MOSI |                         |
| MISO |                         |
| IRQ  | Interrupción            |
| GND  | Masa                    |
| RST  | Reset                   |
| 3.3V | V <sub>CC</sub> (+3.3V) |

Tabla 4. Pines RFID-RC522

Para la comunicación con el micro-controlador el módulo RFID utiliza el protocolo SPI (*Serial Peripheral Interface*, Interfaz Serie Periférica). SPI es un protocolo muy común, usado para comunicación sincrónica de doble sentido entre dos dispositivos. El protocolo define un dispositivo maestro, encargado de transmitir información a sus esclavos. El maestro también puede recibir información de sus esclavos. Un bus SPI estándar consiste de cuatro señales:

- MOSI (*Master Out Slave In*, Salida Maestro Entrada Esclavo): Línea para transportar datos desde el dispositivo maestro hacia el esclavo.
- MISO (*Master In Slave Out*, Entrada Maestro Salida Esclavo): Línea utilizada para transportar datos en sentido contrario a la anterior.
- CLK (*Clock*, Reloj): Línea proveniente del dispositivo maestro, se encarga de enviar la señal de reloj para sincronizar ambos dispositivos.
- SS (*Slave Select*, Selección de Esclavo): Línea encargada de seleccionar y habilitar un dispositivo esclavo.

Un bus SPI posee un único maestro y uno o más esclavos. El dispositivo maestro puede entablar comunicación con cualquier esclavo en el bus, pero estos últimos no pueden comunicarse entre sí. A través de cada señal de selección, el maestro determina con cuál esclavo realiza una transferencia de información. Por otro lado, el único requerimiento para la señal de reloj es que la frecuencia de la misma sea menor que la máxima frecuencia de cualquier dispositivo del sistema.

En el circuito integrado MFRC522, la interfaz SPI permite establecer una comunicación de alta velocidad con un host. Esta interfaz soporta velocidades de transmisión de hasta 10 Mbps. Cuando se conecta con un micro-controlador, el MFRC522 actúa como un dispositivo esclavo. De esta forma, recibe datos de un host externo para la configuración de registros, el envío y la recepción de información relevante para la interfaz de comunicación por radiofrecuencia.

Dado que el sistema MFRC522 se comporta como el dispositivo esclavo durante una comunicación SPI, la señal de reloj SCK debe ser generada por el micro-controlador que actúa como maestro. Para la comunicación de datos desde el maestro al esclavo, se emplea la línea

MOSI. Por otro lado, la línea MISO es utilizada para el envío de datos en sentido contrario. Los bytes de datos, tanto para ambas líneas MOSI y MISO, son enviados con el bit MSB (*Most Significant Bit*, Bit Más Significativo) primero. La señal de datos debe ser estable durante el flanco ascendente del reloj y puede ser modificada durante el flanco descendente.

El esquemático del módulo se muestra en la Fig. 18 y se corresponde con el diagrama de aplicación típica propuesto por el fabricante en la hoja de datos del MFRC522.

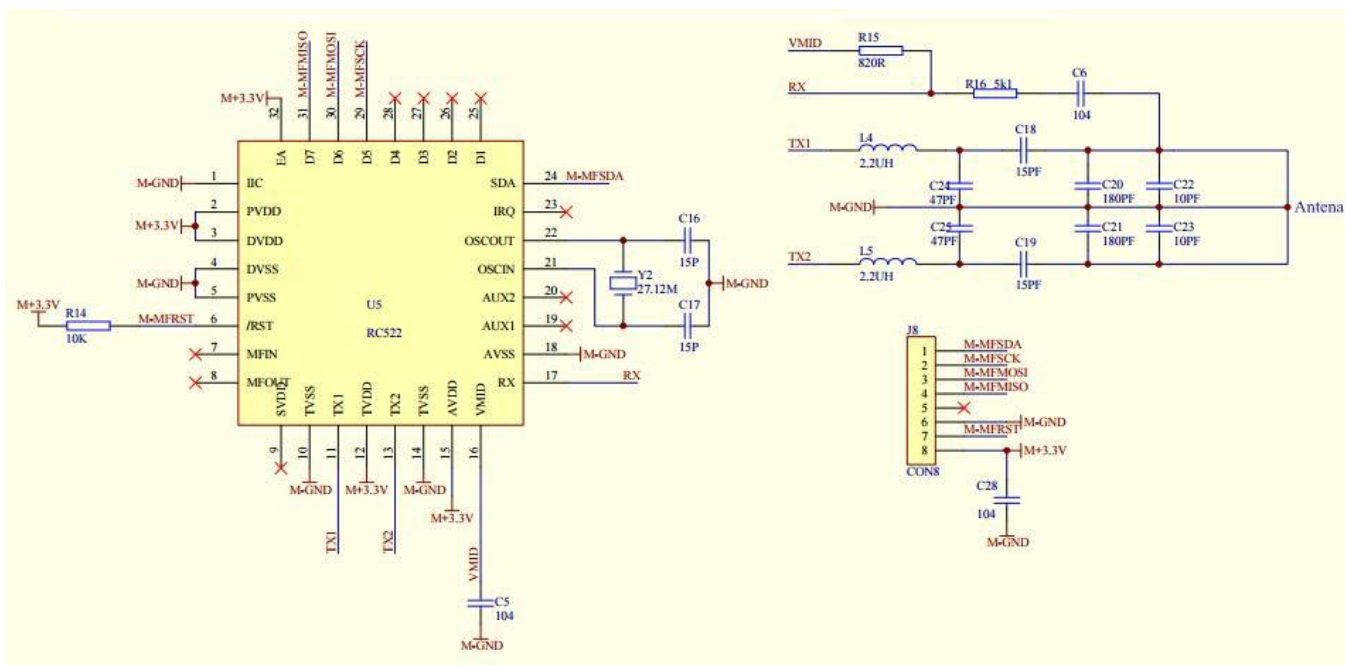


Fig. 18. Esquemático módulo RFID-RC522

### 3.3 Pantalla de Cristal Líquido

En cuanto a la presentación, el objetivo del equipo es establecer una comunicación con los usuarios por medio de mensajes informativos. Estos mensajes reflejan la concreción de un evento.

Se optó por una pantalla LCD (*Liquid Crystal Display*, Pantalla de Cristal Líquido) de 2 filas de 16 caracteres cada una. Los módulos LCD tienen la capacidad de mostrar cualquier carácter alfanumérico y funcionan a partir de la reflexión de la luz sobre el cristal líquido. La pantalla es retro-iluminada por lo que es visible en la oscuridad. Estos dispositivos poseen toda su lógica de control pre-programada de fábrica. Como ventaja adicional, su consumo de corriente es mínimo y no hace falta realizar la decodificación binaria que se hace con los *displays* de siete segmentos.

Para este proyecto se utilizó el *display* 1602A QAPASS [6], que se presenta en la Fig. 19. En la Tabla 5 se muestran los pines, con su correspondiente función.

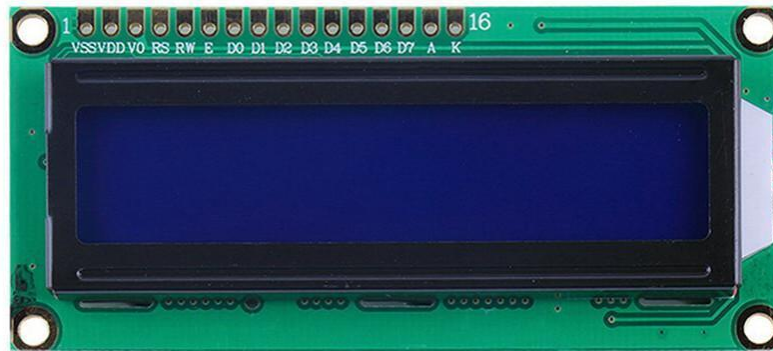


Fig. 19. *Display*

| Número de pin | Símbolo     | Función                       |
|---------------|-------------|-------------------------------|
| 1             | $V_{SS}$    | GND                           |
| 2             | $V_{DD}$    | $V_{CC} (+5V)$                |
| 3             | $V_O$       | Ajuste contraste              |
| 4             | RS          | Selección de registro         |
| 5             | $R/\bar{W}$ | Lectura/Escritura             |
| 6             | E           | Habilitación                  |
| 7             | D0          | Bus de datos                  |
| 8             | D1          |                               |
| 9             | D2          |                               |
| 10            | D3          |                               |
| 11            | D4          |                               |
| 12            | D5          |                               |
| 13            | D6          |                               |
| 14            | D7          |                               |
| 15            | A           | <i>BackLight</i> ( $V_{CC}$ ) |
| 16            | K           | <i>BackLight</i> (GND)        |

Tabla 5. Pines del LCD

- Los pines 1 y 2 son los utilizados para la alimentación del módulo LCD. Se conectó un capacitor de  $100\mu F$  entre ellos para mitigar posibles interferencias.
- El pin 3 se utiliza para ajustar el contraste de la pantalla LCD. A mayor tensión, mayor intensidad lumínica.
- El pin 4 se utiliza para indicar al bus de datos si la información recibida es una instrucción ( $RS = 0$ ) o un carácter ( $RS = 1$ ).

- El pin 5 es el de lectura/escritura. Si  $R/\bar{W} = 0$ , el módulo muestra en pantalla el dato presente en el bus de datos, mientras que lo lee si  $R/\bar{W} = 1$ .
- El pin 6 es el encargado de habilitar el módulo LCD. Cuando  $E = 0$  queda deshabilitado, mientras  $E = 1$  permite su funcionamiento.
- Los pines 7 a 14 corresponden al bus de datos.
- Los pines 15 y 16 se utilizan para retro-iluminación.

El bus de datos de un módulo LCD puede funcionar como un bus de 8 *bits* o como uno multiplexado de 4 *bits*. Se optó por trabajar de forma multiplexada permitiendo ahorrar puertos al microcontrolador utilizado. Por lo tanto, se utilizaron los pines *D4*, *D5*, *D6* y *D7* mientras que los restantes se conectaron a masa para evitar cualquier perturbación.

En la Tabla 6 se muestran los pines elegidos y configurados del PIC18F2550 para manejar la pantalla LCD.

| Número de pin     |             |
|-------------------|-------------|
| Micro-controlador | LCD         |
| 13                | RS          |
| 12                | $R/\bar{W}$ |
| 11                | E           |
| 23                | D4          |
| 24                | D5          |
| 25                | D6          |
| 26                | D7          |

Tabla 6. Asignación entre pines micro-controlador y LCD

### 3.4 Comunicación RS232

Disponer de enlaces de datos entre dispositivos es una necesidad indispensable para la mayoría de las aplicaciones. La forma más simple de comunicar un micro-controlador con una computadora es a través del puerto serie, utilizando el estándar RS232 (EIA 232). A pesar de su antigüedad, es una comunicación muy utilizada en la industria y en conexiones a computadoras.

Al intervenir un dispositivo que maneja niveles de tensión TTL y otro que trabaja bajo los parámetros de la norma EIA/TIA-232E, es necesario adaptar los mismos. MAX232 [7], fabricado por Maxim Integrated, es un circuito integrado capaz de realizar esta función, ya que posee salidas para manejar niveles de voltaje RS-232, y los produce utilizando multiplicadores de voltaje con la adición de condensadores externos.

El conector por el cual se accede al puerto serie de una computadora es DB9 de tipo macho. Este tipo de conector, junto a la numeración de sus pines, se muestra en la Fig. 20.

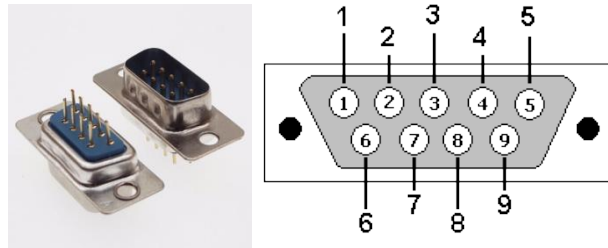


Fig. 20. Conector DB9

En la comunicación entre el micro-controlador y la computadora intervienen tres pines:

- Pin 2 (RXD): Recepción de datos.
- Pin 3 (TXD): Transmisión de datos.
- Pin 5 (GND): Masa.

En la Fig. 21 se muestra un diagrama esquemático de las conexiones del MAX232.

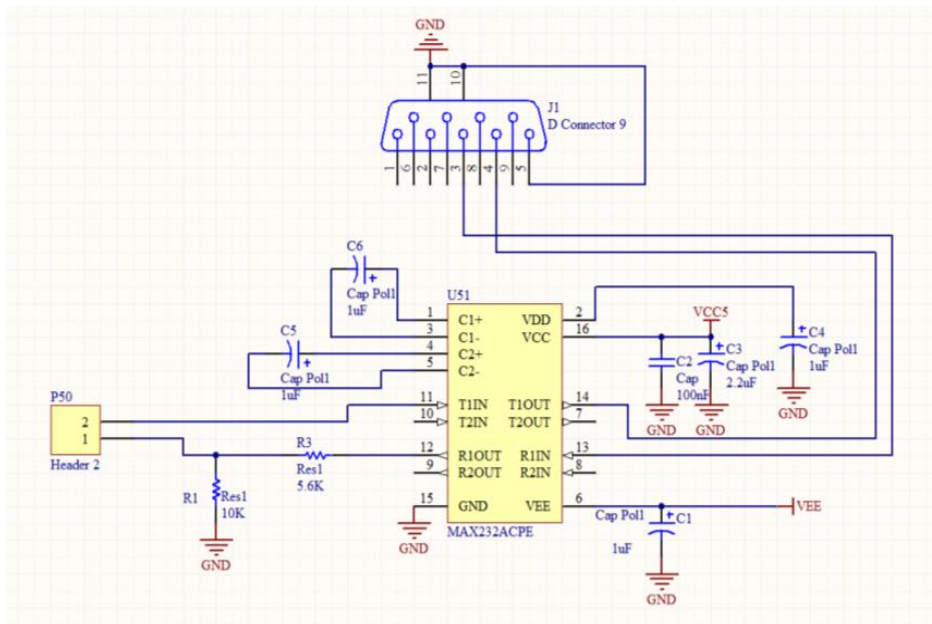


Fig. 21. Esquemático del MAX232

En una primera instancia, para realizar ensayos, se utilizó este tipo de esquema para la comunicación con el ordenador. Sin embargo, luego se empleó el módulo Bluetooth por lo que no fue necesario el uso del MAX232.

### 3.5 Módulo Bluetooth

Para la transferencia de los datos registrados por el equipo hacia el ordenador, se consideró comunicación Bluetooth. Éste es un protocolo que posibilita la transmisión de información entre diferentes dispositivos mediante un enlace de radiofrecuencia en la banda ISM de 2.4 GHz. Este tipo de comunicación facilita el intercambio de datos entre equipos móviles, ya que ofrece la posibilidad de crear redes inalámbricas pequeñas, eliminando cables y conectores.

En este proyecto se eligió el módulo HC-05 [10], ya que es uno de los más utilizados y de fácil disponibilidad. En la Fig. 22 se muestra una imagen del módulo. Las especificaciones del mismo son las siguientes:

- Protocolo Bluetooth: Bluetooth Specification v2.0+EDR.
- Frecuencia: 2.4 GHz, Banda ISM.
- Modulación: GFSK (*Gaussian Frequency Shift Keying*).
- Potencia de emisión: 4dBm.
- Sensibilidad: -84dBm.
- Seguridad: Autenticación y encriptación.
- *Baud rate*: 4800, 9600, 19200, entre otros.

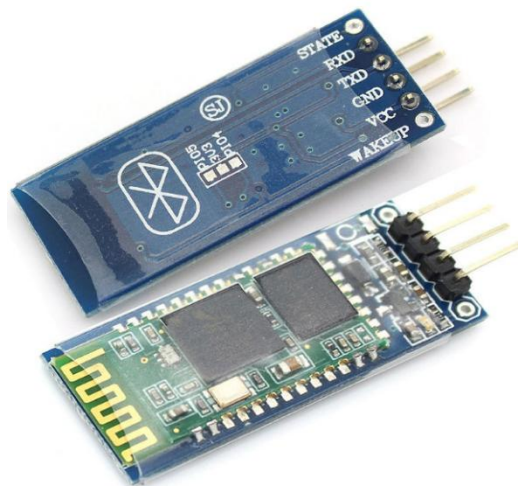


Fig. 22. Módulo Bluetooth HC-05

En la Tabla 7 se muestra los pines con su función correspondiente.

| Símbolo | Función             |
|---------|---------------------|
| STATE   | Indicador de estado |
| RXD     | Recepción           |
| TXD     | Transmisión         |
| GND     | 0V                  |
| VCC     | +3.3V a +5V         |
| WAKEUP  | Modo AT             |

Tabla 7. Pines y función del módulo Bluetooth

- Los pines RXD y TXD son los responsables de la comunicación y, como sus siglas lo indican, corresponden a la recepción y transmisión de datos.
- Los pines VCC y GND corresponden a la alimentación del módulo.
- El pin STATE es el indicador de estado, cuya señal está asociada a un *led* incorporado en el módulo. La intermitencia del *led* varía de acuerdo a si se encuentra o no emparejado con otro equipo.
- El pin WAKEUP sirve para entrar en modo AT. En estado alto se encuentra en dicho modo, mientras que en estado bajo funciona normalmente como esclavo o maestro.

La comunicación entre el módulo y el PIC18F2550 es de tipo serie. Es necesario remarcar que el módulo Bluetooth funciona con una tensión de 3.3V y el PIC18F2550 con 5V. Para la comunicación UART entre ambos, se colocó un divisor resistivo de tensión entre el pin de transmisión del PIC18F2550 (salida de 5V) y el pin de recepción del dispositivo Bluetooth (entrada de 3.3V). La comunicación en sentido inverso se realizó directamente, ya que la salida de 3.3V del módulo puede manejar sin inconvenientes la entrada de 5V del micro-controlador.

Para la configuración inicial del módulo, existen comandos predefinidos, denominados comandos AT. La inicialización del módulo contiene información de diversos tipos y siempre que recibe un comando, envía una respuesta.

Los comandos AT utilizados se detallan en la Tabla 8.

| Comando               | Función                                       |
|-----------------------|---|
| AT                    | Verificar si estamos en modo AT               |
| AT+NAME=<parámetro>   | Configurar el nombre del módulo               |
| AT+PSWD=< parámetro > | Establecer el pin de vinculación (contraseña) |
| AT+UART=< parámetro > | Configurar la velocidad                       |

Tabla 8. Comandos AT



Para este proyecto, el módulo Bluetooth se configuró con el nombre “LAC-RFID”, contraseña “RFID2017” y una velocidad (*baud rate*) de 9600 bps.

### 3.6 Reloj en tiempo real

Al tratarse de un control de asistencia de personal, uno de los requerimientos del producto es establecer la fecha y hora de cada ingreso/egreso.

Existe un tipo especial de circuito integrado llamado RTC (*Real Time Clock*, Reloj en Tiempo Real), cuyas funciones principales son proveer fecha y hora de manera confiable, liberando recursos del micro-controlador, y permitir funcionamiento mediante fuente externa de alimentación (batería).

Para este proyecto se optó por el RTC DS1307 [8], fabricado por Maxim Integrated. Los pines del mismo se muestran en la Tabla 9.

| Número de pin | Símbolo |
|---------------|---------|
| 1             | X1      |
| 2             | X2      |
| 3             | VBAT    |
| 4             | GND     |
| 5             | SDA     |
| 6             | SCL     |
| 7             | SQW/OUT |
| 8             | VCC     |

Tabla 9. Pines RTC

- Los pines 1 y 2 son los terminales para el cristal de cuarzo de 32.768 kHz.
- El pin 3 es la entrada de alimentación externa (pila estándar de litio).
- Los pines 4 y 8 corresponden a la alimentación.
- El pin 5 (*Serial Data Input/Output*) es el pin de datos bidireccional para la comunicación I<sup>2</sup>C.
- El pin 6 (*Serial Clock Input*) es la entrada de reloj para la interfaz I<sup>2</sup>C.
- El pin 7 (*Square Wave/Output Driver*) es una salida capaz de generar una onda cuadrada dentro de cuatro frecuencias posibles.

En este proyecto se utilizó un módulo en el cual está integrado el DS1307, junto con el hardware asociado. El esquemático del mismo se observa en la Fig. 23 .

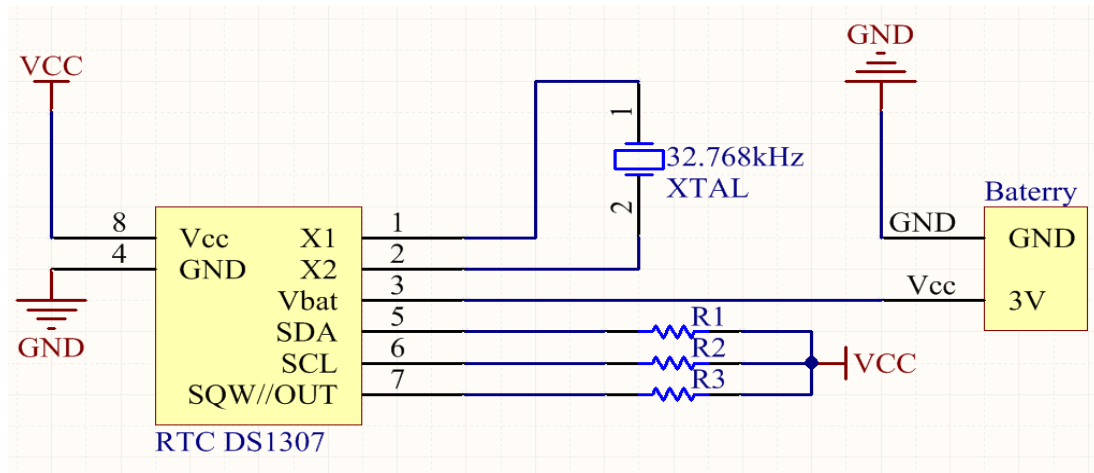


Fig. 23. Esquemático RTC

La Fig. 24 muestra el módulo utilizado.

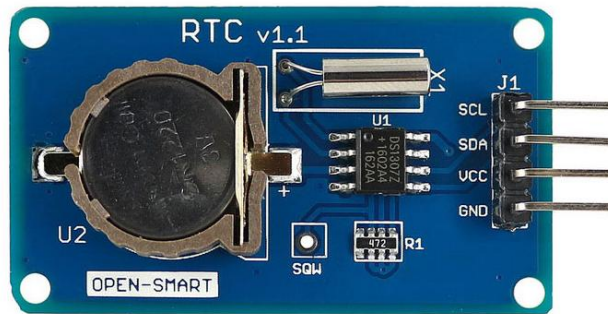


Fig. 24. Módulo RTC

Para la comunicación con el micro-controlador el RTC utiliza el protocolo I<sup>2</sup>C. Este protocolo define un bus estándar que facilita la comunicación entre dispositivos inteligentes, requiriendo sólo de dos líneas de señal y un común o masa. La metodología de comunicación es serie y sincrónica. Una de las señales, SCL (*System Clock*, Reloj del Sistema), sirve para sincronismo y la otra, SDA (*System Data*, Datos del Sistema) para intercambiar datos. El bus permite conectar en paralelo múltiples entradas y salidas, por lo que se debe establecer un protocolo que permita la comunicación. En este sentido, se definen dispositivos maestros y dispositivos esclavos. Sólo los dispositivos maestros pueden iniciar una comunicación.

El bus parte de una condición inicial, llamada de bus libre, que aparece cuando ambas señales, SCL y SDA, están en estado alto. Entonces, un dispositivo maestro puede ocupar el bus, poniendo en estado bajo sólo la línea de datos. El primer byte que se transmite, luego de la condición de inicio, contiene 8 *bits*, de los cuales siete representan la dirección del dispositivo que se desea seleccionar, y el octavo se corresponde a la operación de lectura o escritura que se desea realizar. Si un dispositivo del bus reconoce su dirección, contesta con un bit en bajo a continuación del octavo bit que ha transmitido el dispositivo maestro. Este bit funciona como reconocimiento (ACK) por parte del esclavo de la solicitud del maestro. Así se establece la comunicación y comienza el intercambio de información entre los dispositivos, mediante el envío de datos por parte del maestro (escritura) o del esclavo (lectura). En cualquier caso, el que recibe debe reconocer los datos agregando un bit. También, el dispositivo maestro puede dejar libre el bus generando una condición de parada, levantando la línea SDA.

En este caso, el dispositivo RTC DS1307 funciona como esclavo, mientras que la función de maestro la realiza el PIC18F2550. Como se mencionó antes, la transferencia de datos puede ser iniciada si el bus se encuentra libre. Durante la misma, SDA debe mantenerse estable siempre que SCL se encuentre en alto. Los cambios en la señal de datos, mientras la señal de reloj se encuentra en alto, son interpretados como una señal de control. El procedimiento se detalla en la Fig. 25.

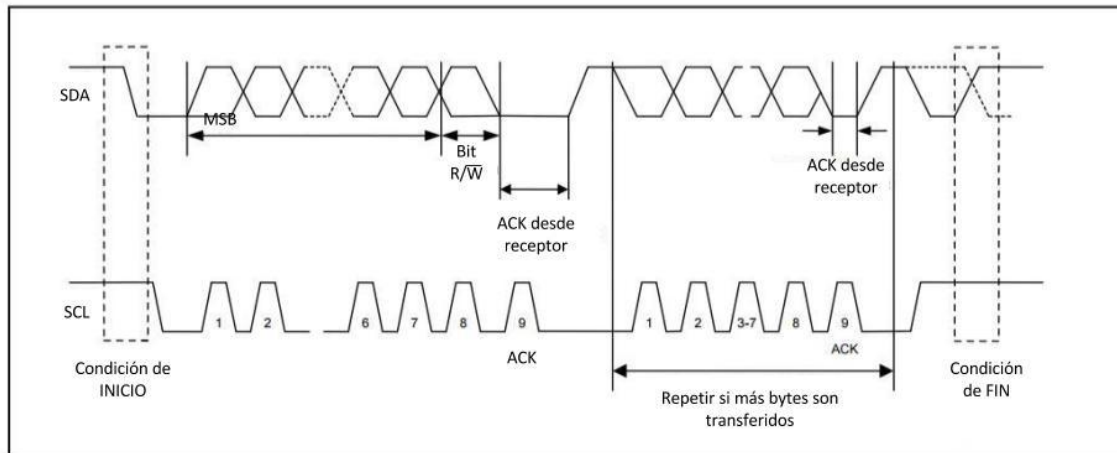
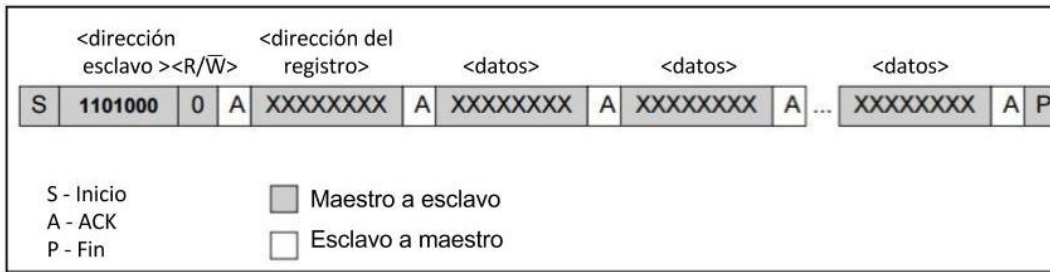


Fig. 25. Protocolo I<sup>2</sup>C

El DS1307 puede operar en dos modos, tal como se observa en la Fig. 26.

## Escritura - Esclavo en modo receptor



## Lectura - Esclavo en modo transmisor

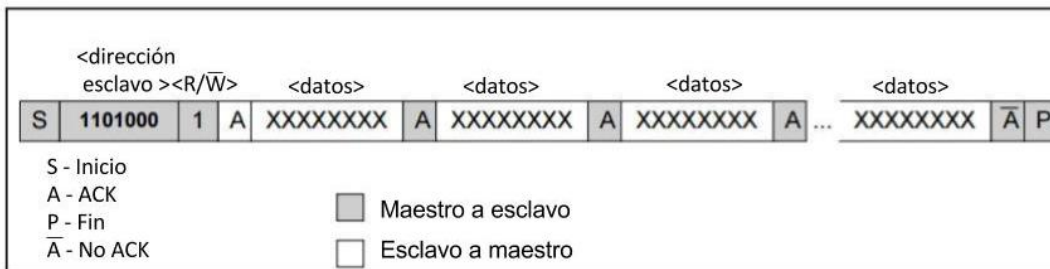


Fig. 26. Modos de operación DS1307

En ambos casos la transferencia comienza con un bit de START y finaliza con uno de STOP. El byte posterior al inicio está compuesto por la dirección del esclavo (7 bits) y el indicador de lectura/escritura (1 bit). En modo receptor sigue la dirección del registro del DS1307 y los correspondientes datos. Mientras que en modo transmisor, siguen directamente los datos a transmitir.

### 3.7 Memoria EEPROM

Uno de los requerimientos del equipo es el funcionamiento sin necesidad de conexión permanente a un ordenador. Para lograr esta autonomía, se optó por el uso de una memoria externa del tipo EEPROM. Ésta se caracteriza por ser memoria no volátil y permitir el borrado y programación mediante impulsos eléctricos.

En este proyecto se eligió la memoria EEPROM 24LC512 [9], fabricada por Microchip Technology Inc. Los factores que determinaron su elección fueron su disponibilidad, la posibilidad que ofrece de conexión en cascada de hasta ocho dispositivos y su capacidad de almacenamiento de  $64K \times 8 = 512Kbit$ .

Los pines del dispositivo se muestran en la Tabla 10.

| Número de pin | Símbolo         |
|---------------|-----------------|
| 1             | A0              |
| 2             | A1              |
| 3             | A2              |
| 4             | V <sub>SS</sub> |
| 5             | SDA             |
| 6             | SCL             |
| 7             | WP              |
| 8             | V <sub>CC</sub> |

Tabla 10. Pines EEPROM 24LC512

- Los pines 1,2 y 3 son las entradas para configurar la dirección de la memoria.
- Los pines 4 y 8 corresponden a la alimentación.
- El pin 5 (*Serial Data Input/Output*) es el pin de datos bidireccional para la comunicación I<sup>2</sup>C.
- El pin 6 (*Serial Clock Input*) es la entrada de reloj para la interfaz I<sup>2</sup>C.
- El pin 7 (*Write-Protect*) permite habilitar la protección contra escritura. Si WP = V<sub>SS</sub> las operaciones de escritura están habilitadas, mientras que si WP = V<sub>CC</sub> no se permite escribir.

Para la comunicación con el micro-controlador, la memoria también utiliza el protocolo I<sup>2</sup>C. Las secuencias de lectura y escritura son idénticas a las explicadas en el caso de RTC. La única diferencia es el byte de control debido a que la dirección del esclavo es distinta y las posiciones de memoria están conformadas por 2 *bytes*. Esta asignación se muestra en la Fig. 27.

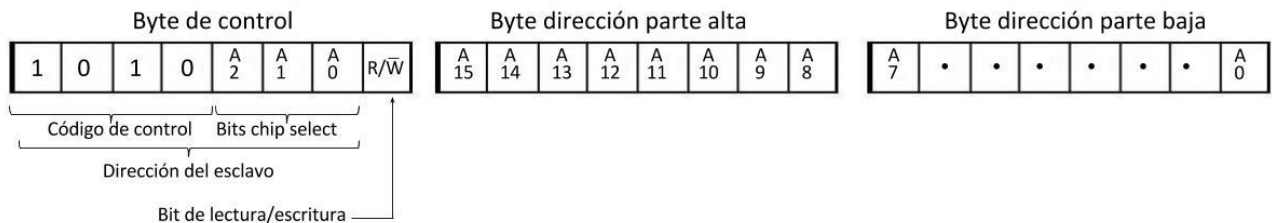


Fig. 27. Asignación de bytes EEPROM

A pesar de que la memoria y el RTC comparten el bus I<sup>2</sup>C, no existen inconvenientes en el acceso, debido a que tienen direcciones distintas trabajando en modo esclavo. Esta diferencia es lo que permite conectar ambos dispositivos en el mismo bus.

La conexión entre la memoria EEPROM y el micro-controlador se muestra en la Fig. 28.

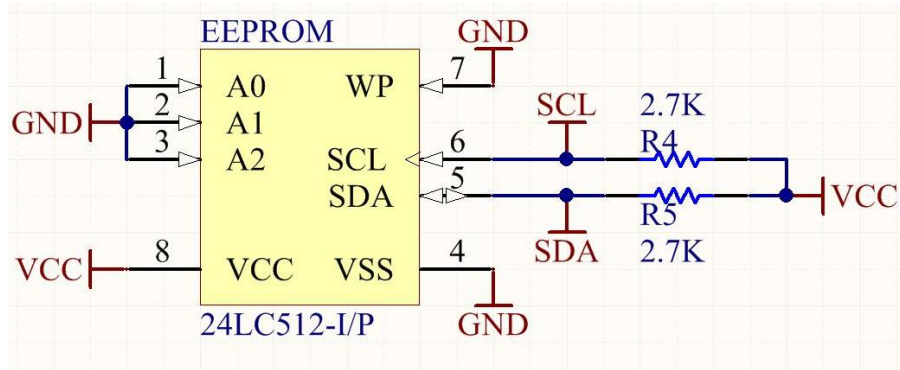


Fig. 28. Conexión EEPROM y micro-controlador

# CAPÍTULO 4

## Soporte de Software

Como se mencionó en el capítulo anterior, el desarrollo en software constituye la otra parte fundamental del proyecto. Éste tuvo en cuenta la programación de las funcionalidades del equipo y la creación de una aplicación de administración que se sirve de una base de datos.

El desarrollo en software del proyecto se divide en dos grandes partes: el programa del micro-controlador y el diseño de la interfaz gráfica con el usuario. En el caso del micro-controlador se usó el entorno PIC C Compiler (lenguaje C), mientras que para la interfaz, se eligió trabajar con Visual Basic Express Edition (lenguaje VisualBasic.NET). Además, se utilizó el lenguaje SQL dentro de la programación de la aplicación para poder crear y administrar una base de datos.

### 4.1 Micro-controlador

#### CCS PIC Compiler

Para programar el micro-controlador PIC18F2550 se utilizó el programa CCS PIC COMPILER. Este IDE (*Integrated Development Environment*, Entorno de Desarrollo Integrado) es un compilador que contiene operadores estándar del lenguaje C. También cuenta con funciones incorporadas en bibliotecas que son específicas a los registros del micro-controlador, proporcionando a los desarrolladores una herramienta poderosa para el acceso al hardware.

#### Funciones generales

El equipo debe ser capaz de identificar si un empleado, asociado a un *tag*, se encuentra registrado en la empresa. De ser así, debe permitir tomar registro de la fecha y hora del ingreso/egreso. Además, es necesaria la interacción con el ordenador para la configuración del equipo y transferencia de datos. El programa del micro-controlador debe realizar todas las funciones necesarias para cumplir con dichos requerimientos.

La filosofía general de funcionamiento es mediante señales de interrupción. Las interrupciones permiten frenar temporalmente la ejecución del programa principal, cuando sucede algún evento interno o externo de relevancia. En el momento de producirse la

interrupción, el micro-controlador atiende la rutina asociada a la misma, previamente definida por el programador.

El PIC18F2550 cuenta con 19 fuentes de interrupción. En este proyecto se utilizaron las interrupciones por tiempo y por UART.

### Interrupción UART

Este tipo de interrupción ocurre al recibir un dato por el puerto serie. Como se detalló en la sección 3.5, en los pines 17 y 18 (UART) del micro-controlador se conectó el módulo Bluetooth. De esta manera, se estableció un lazo de comunicación entre el dispositivo y el ordenador, utilizándose la interrupción UART como mecanismo para relacionar la interfaz de usuario con el equipo por medio de comandos. La identificación de cada comando se realizó por comparación de los primeros cuatro caracteres recibidos de una trama. Para detectar el fin de cada trama se empleó el carácter denominado salto de línea. Al trabajar de esta manera, se otorgó flexibilidad frente al agregado de comandos nuevos.

Los comandos definidos y su función son:

- DSBL, para deshabilitar interrupción por tiempo.
- ENBL, para habilitar interrupción por tiempo.
- READ, cuando se desea leer el código del *tag* asociado a cada empleado.
- SAVE, cuando se desea guardar el código del *tag* en la memoria EEPROM.
- SEND, si se desea transferir los datos almacenados en la memoria EEPROM a la base de datos.
- IDEN, cuando se desea chequear conexión entre el ordenador y el equipo.
- SCLK, para configurar fecha y hora del RTC.
- GCLK, para adquirir fecha y hora del RTC.
- DELT, cuando se desea borrar el código del *tag* de la memoria EEPROM.

### Interrupción por tiempo

El equipo debe ser capaz de reconocer el paso de un *tag* por el lector en cualquier momento ya que se desconocen el horario exacto en que este evento ocurrirá. Por esta razón, se decidió establecer un mecanismo de detección cada cierto intervalo de tiempo. La interrupción por tiempo que ofrece el micro-controlador fue la opción elegida para llevar a cabo esta tarea.

Este tipo de interrupción ocurre por desborde de reloj. En este caso, se utilizó el timer2 y su configuración se lleva a cabo según la siguiente instrucción:

```
setup_timer_2 (mode, period, postscale)
```

Donde:



- *Mode* (modo): indica el divisor del reloj.
- *Period* (período): determina cuando se reinicia el reloj.
- *Postscale* (post escala): determina cuantos desbordes ocurren antes de la interrupción.

Para determinar el intervalo de interrupción se realizaron pruebas de funcionamiento y se eligió el valor más adecuado con respecto al momento crítico de operación del equipo, que se corresponde con la situación en la que deben registrarse varios individuos en una misma franja horaria. Con esta elección del intervalo de interrupción, se tuvo en cuenta un tiempo acorde para no realizar múltiples lecturas del mismo transpondedor y, a su vez, no tener lapsos de espera demasiado grandes entre lecturas de diferentes *tags*.

En la Fig. 29 se muestra el diagrama de flujo correspondiente a la interrupción por tiempo.

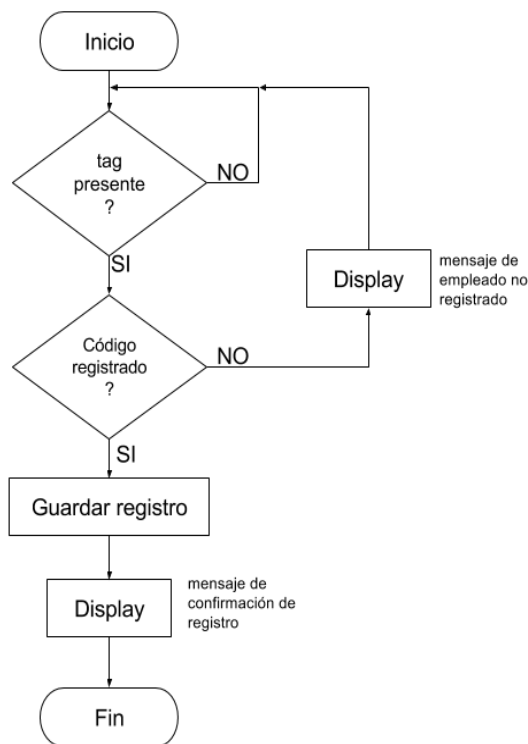


Fig. 29. Diagrama de flujo interrupción por tiempo

La decisión de “código registrado” requiere de la comparación entre el código leído y los almacenados en memoria. Para realizar esta tarea, se usan punteros de posición que señalan el

espacio de códigos ya registrados. La confirmación de dicha operación implica la adquisición de la fecha y hora asociada al identificador, y su posterior almacenamiento.

### Espacio de memoria

Como se mencionó anteriormente, el uso de memoria externa permite el funcionamiento de manera autónoma del equipo. Para la correcta administración del espacio según los requerimientos establecidos, se eligió dividir la memoria en tres bloques. Esta división se muestra en la Fig. 30.

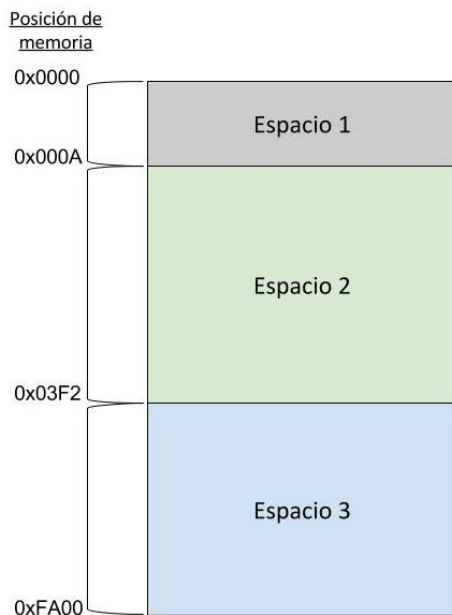


Fig. 30. Espacio de memoria

- Espacio 1: contiene los punteros de posición que indican donde comienzan los otros bloques y la cantidad de registros correspondientes (códigos u horarios).
- Espacio 2: contiene los códigos registrados.
- Espacio 3: contiene los registros horarios.

Los punteros almacenados en el Espacio 1 se inicializan la primera vez que el equipo se enciende. Luego se actualizan de acuerdo a como se llenan los demás espacios de memoria. El Espacio 2 se completa a medida que el usuario, por medio de la interfaz de administración, envía el comando de registrar o borrar un empleado. Finalmente el Espacio 3 se actualiza acorde se registran los ingresos/egresos correspondientes. El formato de los registros almacenados en el Espacio 3 se muestra en la Fig. 31

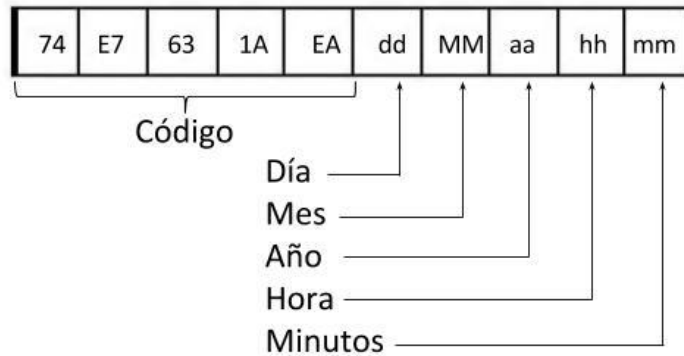


Fig. 31. Formato registro

La transferencia de los registros a la base de datos se puede realizar de dos maneras. Una de ellas es de forma manual a través de la interfaz de administración y al momento en que el usuario lo desee. La otra forma de transferencia es de manera automática, cuando la memoria llega a cierto nivel de ocupación. De esta forma, el equipo verifica si se encuentra conectado al ordenador y, de ser así, procede con la transferencia y posterior eliminación de los datos. De no encontrarse conectado, el equipo no transmite los datos y los sigue almacenando hasta verificar la conexión.

## 4.2 Interfaz de usuario

Entre la base de datos y el dispositivo lector es necesario un interfaz middleware que ejecute un tratamiento previo sobre los datos en bruto que genera el lector. Una vez que los datos son adquiridos por el equipo lector, deben ser transferidos y almacenados de manera correcta para su posterior análisis. Esta tarea es llevada a cabo por una aplicación que oficia de nexo entre el usuario y el sistema.

### Visual Basic

Visual Basic (VB) es un lenguaje de programación dirigido por eventos, desarrollado por Microsoft, para sistemas operativos Windows. VB permite realizar la programación gráfica directamente ya que no requiere de los usuarios la escritura de código. Gracias a esto, los desarrolladores sólo deben enfocarse en la programación de las funcionalidades y eventos propios de la aplicación a realizar.

La creación de interfaces gráficas para diferentes utilidades es una de las principales funciones de Visual Basic. Por este motivo, es muy usado en espacios profesionales donde se requieren soportes gráficos para mayor organización de los contenidos y materiales.

El desarrollo de la interfaz del equipo se realizó a través del IDE Visual Basic Express Edition. Este IDE contiene varias herramientas que sirven de ayuda para diseñar aplicaciones, así como para escribir, editar y depurar el código correspondiente.

## **MySQL**

Para describir el funcionamiento de la interfaz de usuario y el almacenamiento de datos, se definen a continuación los conceptos de base de datos y modelo relacional.

Se conoce como base de datos al conjunto de datos que está organizado y estructurado de un modo específico para que su contenido pueda ser tratado y analizado de manera rápida y sencilla. Cada base de datos se compone de una o más tablas que guardan un conjunto de datos. Cada tabla tiene una o más columnas y filas. Las columnas guardan una parte de la información sobre cada elemento que queremos guardar en la tabla, cada fila de la tabla conforma un registro.

El modelo relacional para la gestión de una base de datos es un modelo de datos basado en la lógica de predicado y en la teoría de conjuntos. Es el modelo más utilizado en la actualidad para modelar problemas reales y administrar datos dinámicamente. Su idea fundamental es el uso de relaciones. Una relación es un vínculo que permite definir una dependencia entre los conjuntos de dos o más entidades. Esto es la relación entre la información contenida en los registros de varias tablas.

A partir de estas definiciones, MySQL es un sistema de gestión de base de datos relacional de código abierto, basado en lenguaje de consulta estructurado (SQL). MySQL se ejecuta en prácticamente todas las plataformas, incluyendo Linux, UNIX y Windows. A pesar de que se puede utilizar en una amplia gama de aplicaciones, MySQL se asocia más con las aplicaciones basadas en la web y la publicación en línea.

SQL (*Structured Query Language*, lenguaje de consulta estructurada) es un lenguaje de programación diseñado para la gestión de bases de datos de carácter relacional que permite la especificación de distintas clases de operaciones. SQL brinda la posibilidad de almacenar, manipular y recuperar información de las bases de datos de manera sencilla. La primera versión de SQL apareció en el año 1974.

Por otro lado, WAMP es el acrónimo usado para describir un sistema de infraestructura de Internet que usa Windows como sistema operativo, Apache como servidor web, MySQL como gestor de bases de datos, y PHP (generalmente), Perl, o Python, como lenguajes de programación.

El uso de un WAMP permite subir páginas HTML a Internet, gestionar datos en ellas, además de proporcionar lenguajes de programación para desarrollar aplicaciones web. Entre los sistemas WAMP más reconocidos se encuentran EasyPHP y WampServer.

## **Aplicación**

La programación de la interfaz de usuario se realizó mediante el lenguaje VB.NET. Esta aplicación es la encargada de ofrecer al usuario un entorno amigable para la configuración del equipo y administración y visualización de la información.

En primera instancia, se planificaron las tareas que la aplicación debía ejecutar para cumplir los requisitos del sistema. Para lograr esto de manera sencilla e intuitiva para el usuario, se desarrollaron diversas ventanas, cada una de las cuales cumple una tarea específica.

Uno de los requisitos más importantes es la capacidad de transferir datos del equipo lector hacia el ordenador y su posterior almacenamiento. Debido a la necesidad de guardar todos los registros horarios e información adicional de cada individuo de la organización y poder administrarlos de manera flexible, se optó por la creación de una base de datos relacional. Esta base de datos se programó con el lenguaje SQL, valiéndose del gestor MySQL. Muchos lenguajes de programación incluyen librerías para acceder a las bases de datos MySQL, que cuentan con conectores para la integración con algunos IDE. Este mecanismo permitió ejecutar sentencias SQL dentro del código desarrollado con VB.NET.

Durante el desarrollo de la interfaz de usuario y de la base de datos asociada, se utilizó el sistema WAMP EasyPHP. Ésta una aplicación sencilla ya que sólo muestra el control de los servidores y un registro de sucesos. Además, en la página local principal ofrece un panel de opciones de cada servidor, cambiar credenciales, avisos de actualizaciones, un intérprete para pruebas PHP, entre otras. En este caso, cobró importancia el uso del módulo phpMyAdmin que permitió realizar múltiples ensayos para la definición de la base de datos. A través de phpMyAdmin se efectuaron diversas acciones de prueba como creación de bases de datos, carga de información en las mismas y ejecución de consultas SQL. Por otro lado, una vez creada la base de datos del sistema, este módulo facilitó la visualización de las tablas, la relación entre ellas y la información contenida, permitiendo evaluar si cumplía efectivamente con los requisitos planteados.

Como se mencionó anteriormente, la aplicación cumple diversas tareas como el agregado de empleados, almacenamiento de registros de ingreso/egreso adquiridos junto con cierta información de interés y establecimiento de la comunicación con el equipo para la transferencia de datos. Además debe ofrecer al administrador la posibilidad de configurar el diagrama de horarios a cumplir, compararlos con los datos obtenidos y visualizar la información final.

Cada una de las ventanas de la interfaz se encuentra relacionada con diversos eventos totalmente invisibles para el usuario, es decir que sólo debe ocuparse de dirigirse a los sectores que desee y completar las acciones oportunamente indicadas. Tanto la creación de la base de

datos, de sus tablas y administración de su información como la configuración del equipo lector y la transmisión de los datos, no requieren intervención del administrador.

Todas las ventanas que componen la interfaz de usuario, sus funciones y fragmentos de código relevantes se detallan a continuación.

Las partes de código señaladas indican la ejecución de consultas propias del lenguaje SQL dentro de la programación de la aplicación mediante lenguaje VB.NET. A través del conector *MySQL Connector/NET*, se permitió la conexión a una base de datos y la asignación de comandos SQL a variables de tipo *string* (cadena de caracteres). De esta forma, se logró la administración de una base de datos totalmente transparente para el usuario.

Ventana Iniciar sesión: Se presenta en la Fig. 32. Se trata de la primera ventana que aparece al ejecutar el programa y su función es permitir el acceso únicamente a usuarios administradores ya registrados. Es importante destacar que una vez iniciado el programa es posible la transmisión de datos desde el equipo hacia el ordenador. Además, es una ventana de suma importancia ya que en su programación se crean la base de datos y las tablas, junto con la definición de sus correspondientes campos.

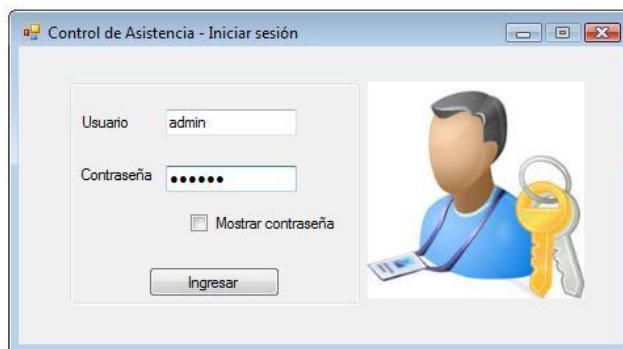


Fig. 32. Ventana iniciar sesión

En la Fig. 33 se observa la función de creación de la base de datos. En ella se ejecuta el comando SQL *CREATE DATABASE* (Crear Base de Datos) para generar una nueva base de datos con el nombre correspondiente, en este caso "Control". La sentencia *IF NOT EXISTS* (Si No Existe) permite la creación de una única base de datos con el mismo nombre, lo cual resultó útil para no generar una nueva cada vez que se inicia el programa.

```

Private Sub CreateDB() 'FUNCION CREAR BASE DE DATOS
    sql = "CREATE DATABASE IF NOT EXISTS `control` CHARSET=utf8"
    Try
        dbcomm = New MySqlCommand(sql, dbconn)
        dbread = dbcomm.ExecuteReader()
        dbread.Close()
    Catch ex As Exception
        MsgBox("Base no creada: " & ex.Message.ToString())
    End Try
End Sub

```

Fig. 33. Código crear base de datos

Luego fueron creadas todas las tablas que conforman la base de datos "Control". Ellas son "Sesión", "Empleados", "DíasEspeciales", "Francos", "Empleados\_Francos", "Horarios\_grupos", "HorariosGrupos\_Empleados", "RegistroHorarios" y "Empleados\_RegistroHorarios". Para crear una tabla se ejecuta el comando SQL *CREATE TABLE* (Crear Tabla) y se le asigna un nombre acompañado de la base de datos a la que pertenece. Nuevamente la sentencia *IF NOT EXISTS* permite la creación de una única tabla con el mismo nombre. Además, a través de *CREATE TABLE* se definen los campos correspondientes de cada tabla indicando los nombres y parámetros de cada uno. A modo de ejemplo, se muestra en la Fig. 34 la creación de la tabla "Sesión"

```

Private Sub CreateTable() 'FUNCION CREAR TABLA SESION
    sql = "CREATE TABLE IF NOT EXISTS `Control`.`Sesion` (" _
        & "id INT UNSIGNED AUTO_INCREMENT NOT NULL PRIMARY KEY," _
        & "User VARCHAR(20) NOT NULL," _
        & "Password VARCHAR(20) NOT NULL)" _
        & "ENGINE=InnoDB DEFAULT CHARSET=utf8 "
    Try
        dbcomm = New MySqlCommand(sql, dbconn)
        dbread = dbcomm.ExecuteReader()
        dbread.Close()
    Catch ex As Exception
        MsgBox("Tabla no creada: " & ex.Message.ToString())
    End Try
    dbread.Close()
End Sub

```

Fig. 34. Código crear tabla sesión

Ventana Principal: Se presenta en la Fig. 35. Se trata de un menú intuitivo en el que se puede elegir una entre varias opciones. Estas opciones son "Usuarios", "Empleados", "Registros", "ID Tarjeta" y "Configuración".



Fig. 35. Ventana menú principal

Ventana de Usuarios: Se abre al presionar el botón Usuarios del Menú Principal. Tal como se presenta en la Fig. 36, esta ventana permite visualizar la lista de usuarios, agregar nuevos y borrar los ya existentes. Los usuarios definidos corresponden a los administradores habilitados a acceder a la interfaz. Por cuestiones de seguridad, la única manera de eliminar un administrador registrado es ingresando su contraseña.

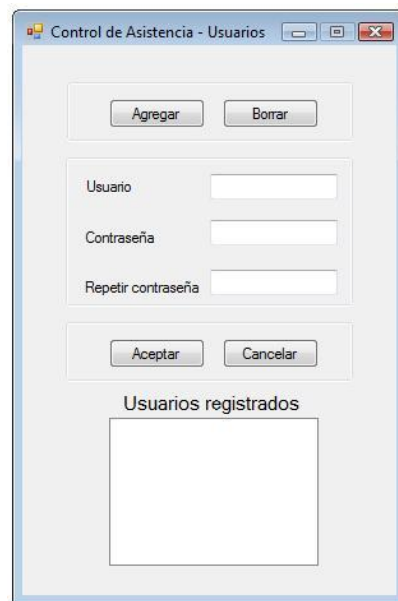


Fig. 36. Ventana usuarios



**Ventana de Empleados:** Se presenta en la Fig. 37. Es una de las ventanas más importantes ya que se encarga de incorporar o eliminar empleados a la base de datos de la organización. El administrador tiene la posibilidad de agregar individuos de forma manual o importando un archivo tipo hoja de cálculo de *Microsoft Excel*. A cada empleado se le asocia información de interés y, aún más importante, se le asigna un código de identificación. Además permite la visualización de todos los datos almacenados y la exportación de los mismos a un archivo tipo *.pdf* (*Portable Document Format*, Formato de Documento Portátil).

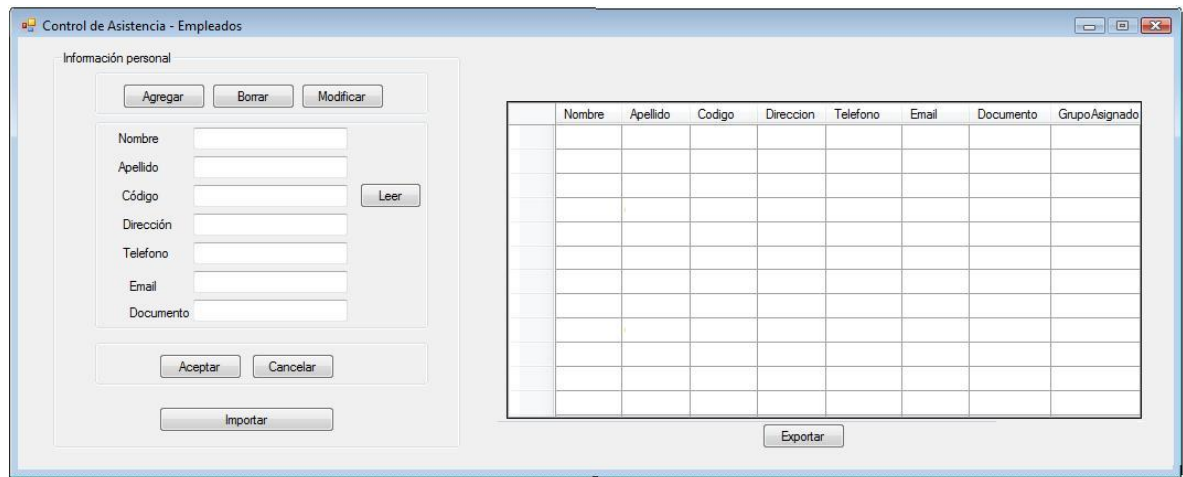


Fig. 37. Ventana empleados

En la Fig. 38 se muestran los comandos SQL *INSERT* (Insertar) y *DELETE* (Borrar) que se encargan de añadir nuevos datos y eliminar datos existentes de una tabla, respectivamente. *INSERT* agrega una nueva fila de información a la tabla referenciada, indicando los valores que se asignan en cada campo. Por su parte, *DELETE* elimina una fila de la tabla en base al cumplimiento de las condiciones determinadas por los valores de los campos.

```
sql = "INSERT INTO 'control'.empleados ('id', 'Nombre', 'Apellido', 'Codigo', 'Direccion', 'Telefono', 'Email', 'Documento') " & " VALUES (NULL, '" & txtNombre.Text & "', '" & txtApellido.Text & "', '" & txtCodigo.Text & "', " & "'" & txtDireccion.Text & "', '" & txtTelefono.Text & "', '" & txtEmail.Text & "', '" & txtDocumento.Text & "'" )"

sql = "DELETE FROM 'control'.empleados WHERE 'empleados'.Nombre = '" & txtNombre.Text & "'" & " & "and 'empleados'.Apellido = '" & txtApellido.Text & "'" and 'empleados'.Codigo = '" & txtCodigo.Text & "'" "
```

Fig. 38. SQL INSERT y DELETE

La única manera de adjudicar un código de identificación a un empleado es a través del botón "Leer", que genera el envío del comando *READ* al equipo lector para permitir la lectura del *tag* en ese momento.

Ventana de ID Tarjeta: Como se observa en la Fig. 39, esta ventana se encarga de ofrecer al administrador una forma rápida de conocer el dueño de un transpondedor en caso de extravío. Al presionar el botón “Leer” y acercar el *tag* al equipo lector, el programa devuelve el apellido y nombre del empleado.

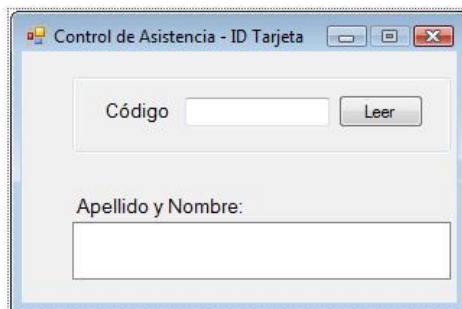


Fig. 39. Ventana ID tarjeta

Ventana de Configuración: Como se muestra en la Fig. 40, consiste en un menú en el que se pueden seleccionar opciones de configuración del equipo lector y de la administración propia de la organización. Estas opciones son: “Reloj”, “Crear grupo”, “Asignar grupo”, “No laborales” y “Francos”.



Fig. 40. Ventana configuración

Ventana de Reloj: Presentada en la Fig. 41, en esta ventana el administrador tiene la posibilidad de observar la fecha y hora configuradas en el equipo, y restablecer las mismas a partir

de la fecha y hora obtenidas del ordenador. Para llevar a cabo estas tareas, la aplicación utiliza los comandos GCLK y SCLK.

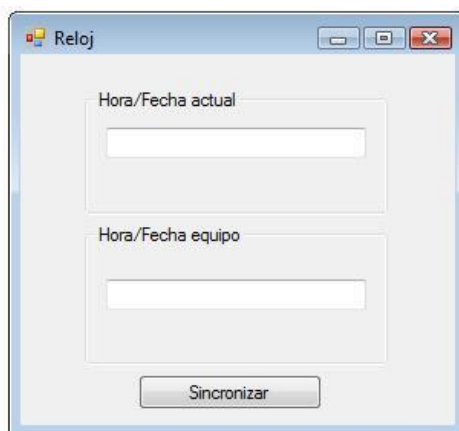


Fig. 41. Ventana reloj

Ventana para Crear grupo: Se presenta en la Fig. 42. Esta ventana permite agregar o eliminar un grupo horario. Si se presiona el botón “Nuevo”, aparece una nueva ventana, como se observa en la Fig. 43, que autoriza al administrador a crear un nuevo grupo horario, con su nombre correspondiente y los horarios laborales a cumplir.

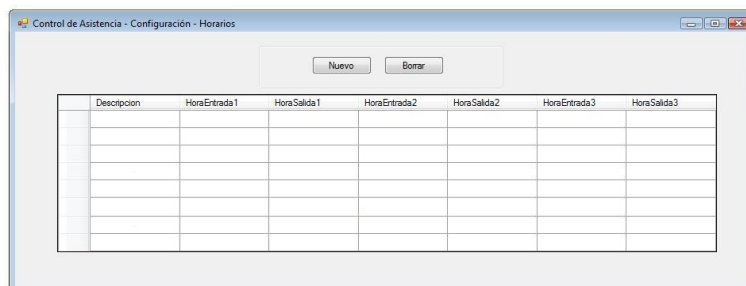


Fig. 42. Ventana grupos horarios

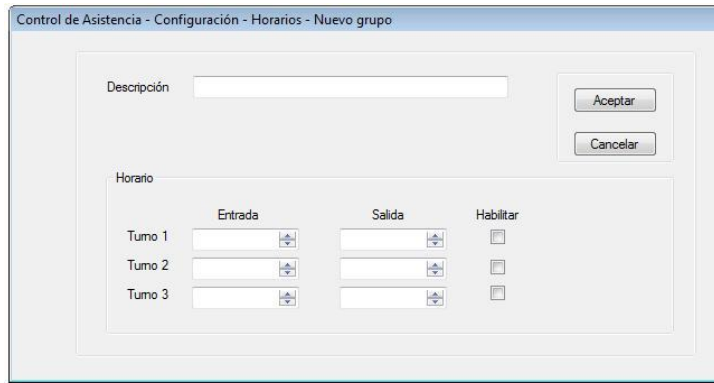


Fig. 43. Ventana configuración grupo horario

Ventana para asignar grupo horario: Tal como se observa en la Fig. 44, en esta ventana el usuario determina los empleados que corresponden a cada grupo.

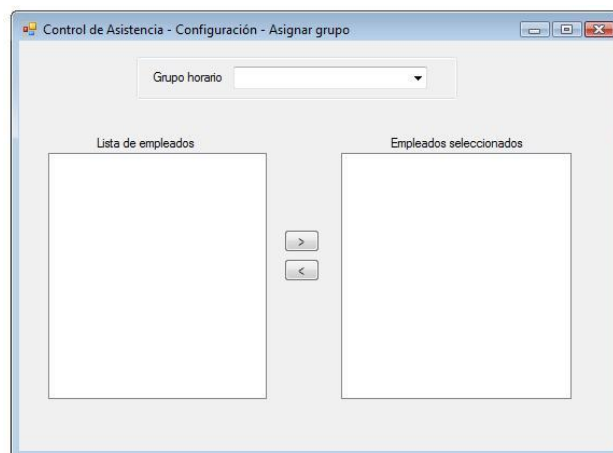


Fig. 44. Ventana asignación grupo horario

Ventana de días No laborales: permite la configuración de los días del año no laborales válidos para todos los individuos de la organización, por ejemplo días feriados, sábados, domingos, entre otros. Como se observa en la Fig. 45, la selección de estos días se realiza a través de un calendario para ofrecer simplicidad de operación al administrador.

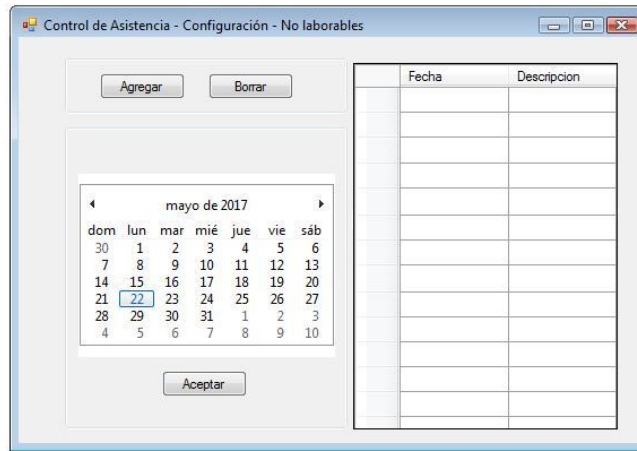


Fig. 45. Ventana días no laborables

Ventana de Francos: Como se presenta en la Fig. 46, con esta ventana se autoriza al usuario a establecer los días no laborales válidos de los empleados de manera personalizada. Es decir, el sistema permite elegir un individuo por vez y seleccionar los días de franco a partir de un calendario.

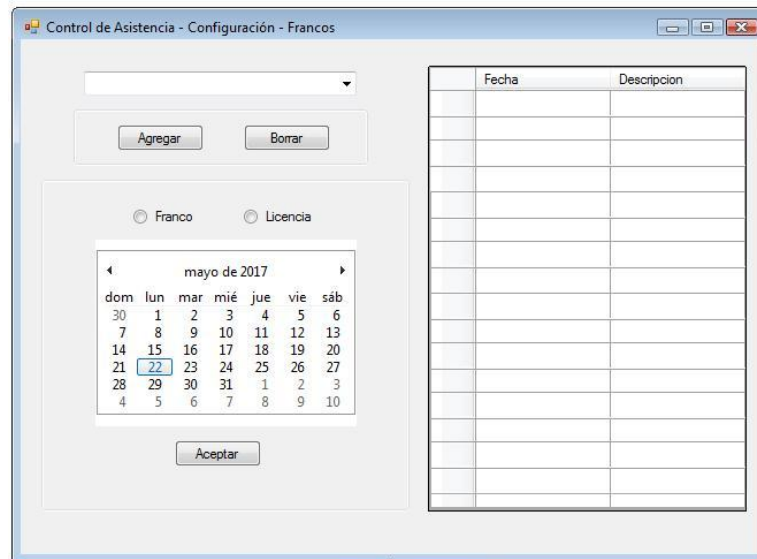


Fig. 46. Ventana francos

Ventana de Registros: Esta ventana es de suma relevancia para el administrador ya que le brinda múltiples opciones de visualización de la información almacenada, permitiéndole también generar reportes. Según las selecciones realizadas, la aplicación entrega reportes de horarios por

grupo o por individuo en un rango de fechas determinado. Además permite exportar la información a un archivo tipo *.pdf*, tal como se muestra en la Fig. 48.

A pesar de que el equipo y la aplicación se encargan de la transferencia de los registros de manera automática, el administrador tiene la posibilidad de realizar a la transmisión de datos mediante el botón “Transferir”. Al pulsar este botón, el comando SEND es enviado al equipo lector para realizar la transferencia de información y así actualizar la base de datos.

|  | Fecha    | Hora Entrada:<br>11:00 | Hora Salida:<br>13:00 | Hora Entrada:<br>15:00 | Hora Salida:<br>17:00 | Hora Entrada:<br>19:00 | Hora Salida:<br>21:00 |
|--|----------|------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|
|  | 19/03/17 | X                      | X                     | X                      | X                     | X                      | X                     |
|  | 20/03/17 | 11:00                  | 13:02-Tarde           | X                      | X                     | X                      | 21:00                 |
|  | 21/03/17 | X                      | 13:00                 | X                      | X                     | X                      | X                     |
|  | 22/03/17 | X                      | X                     | X                      | X                     | X                      | X                     |
|  | 23/03/17 | X                      | X                     | X                      | X                     | X                      | X                     |
|  | 24/03/17 | X                      | X                     | X                      | X                     | X                      | X                     |

Fig. 47. Ventana registro

Empleado: Rodriguez, Matias  
Horarios, fecha de emisión: 24/05/2017

| Fecha    | Hora Entrada: 11:00 | Hora Salida: 13:00 | Hora Entrada: 15:00 | Hora Salida: 17:00 | Hora Entrada: 19:00 | Hora Salida: 21:00 |
|----------|---------------------|--------------------|---------------------|--------------------|---------------------|--------------------|
| 01/03/17 | X                   | X                  | X                   | X                  | X                   | X                  |
| 02/03/17 | X                   | X                  | X                   | X                  | X                   | X                  |
| 03/03/17 | X                   | X                  | X                   | X                  | X                   | X                  |
| 04/03/17 | X                   | X                  | X                   | X                  | X                   | X                  |
| 05/03/17 | X                   | X                  | X                   | X                  | X                   | X                  |
| 06/03/17 | X                   | X                  | X                   | X                  | X                   | X                  |
| 07/03/17 | X                   | X                  | X                   | X                  | X                   | X                  |
| 08/03/17 | X                   | X                  | X                   | X                  | X                   | X                  |
| 09/03/17 | X                   | X                  | X                   | X                  | X                   | X                  |
| 10/03/17 | X                   | X                  | X                   | X                  | X                   | X                  |
| 11/03/17 | X                   | X                  | X                   | X                  | X                   | X                  |
| 12/03/17 | X                   | X                  | X                   | X                  | X                   | X                  |
| 13/03/17 | X                   | X                  | X                   | X                  | X                   | X                  |
| 14/03/17 | X                   | X                  | X                   | X                  | X                   | X                  |
| 15/03/17 | X                   | X                  | X                   | X                  | X                   | X                  |
| 16/03/17 | X                   | X                  | X                   | X                  | X                   | X                  |
| 17/03/17 | X                   | X                  | X                   | X                  | X                   | X                  |
| 18/03/17 | X                   | X                  | X                   | X                  | X                   | X                  |
| 19/03/17 | X                   | X                  | X                   | X                  | X                   | X                  |
| 20/03/17 | 11:00               | 13:00:Tarde        | X                   | X                  | X                   | 21:00              |
| 21/03/17 | X                   | 13:00              | X                   | X                  | X                   | X                  |
| 22/03/17 | X                   | X                  | X                   | X                  | X                   | X                  |
| 23/03/17 | X                   | X                  | X                   | X                  | X                   | X                  |
| 24/03/17 | X                   | X                  | X                   | X                  | X                   | X                  |
| 25/03/17 | X                   | X                  | X                   | X                  | X                   | X                  |
| 26/03/17 | X                   | X                  | X                   | X                  | X                   | X                  |

Fig. 48. Reporte registro

En la Fig. 49 se muestran los comandos SQL *JOIN* (Unir) que permiten establecer relaciones entre los datos de diferentes tablas. La funcionalidad de los mismos se desarrollará más adelante.

```

sql = "SELECT `empleados`.`id`,`empleados`.`nombre`,`empleados`.`apellido` FROM `control`.`empleados` "
& "INNER JOIN `control`.`horariosgrupos_empleados` ON `empleados`.`id`=`horariosgrupos_empleados`.`Empleados_id` "
& "WHERE `horariosgrupos_empleados`.`HorariosGrupos_id`= ' " & HorarioGrupoID & " ' "

```

Fig. 49. Comando SQL *JOIN*

Como se mencionó anteriormente, se optó por la creación de una base de datos debido a la necesidad de guardar información relevante para el funcionamiento del equipo. El diseño de la misma se diagramó con el fin de no tener datos redundantes. A través de un modelo relacional se logró trabajar de esta manera, obteniendo ventajas al momento de realizar consultas y administrar los datos.

En la Fig. 50 se muestra un esquemático de la base de datos creada, con todas las tablas y sus respectivos campos. Los nombres de todas las tablas y campos son representativos de la información que almacenan. Las flechas que unen dos tablas entre sí representan la relación establecida entre ellas.

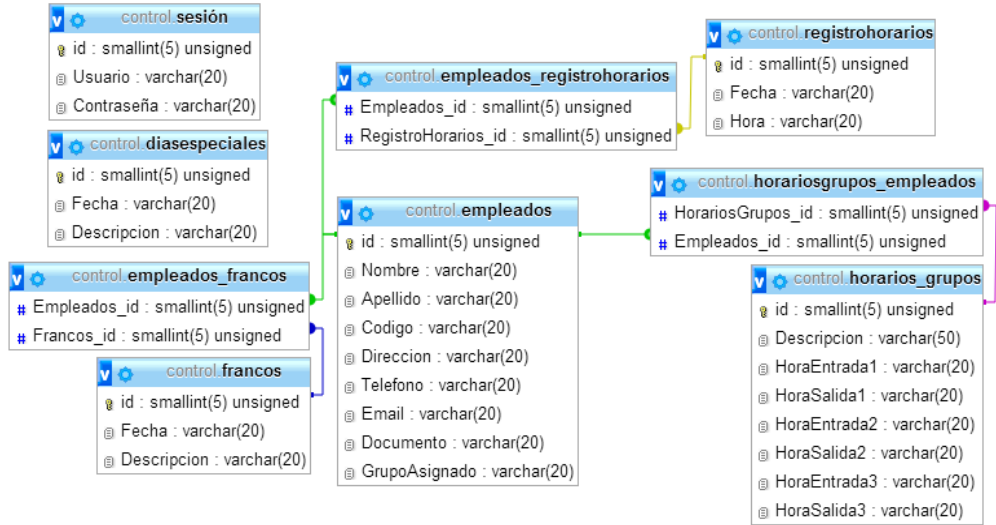


Fig. 50. Base de datos

La sentencia *JOIN* de SQL permite combinar registros de una o más tablas en una base de datos relacional, a partir de columnas en común. En el área del álgebra relacional, *JOIN* es la operación de composición. En este proyecto, las sentencias *JOIN* usadas fueron *INNER JOIN* y *LEFT JOIN*, que se muestran en la Fig. 51 junto con el resto de las posibilidades.

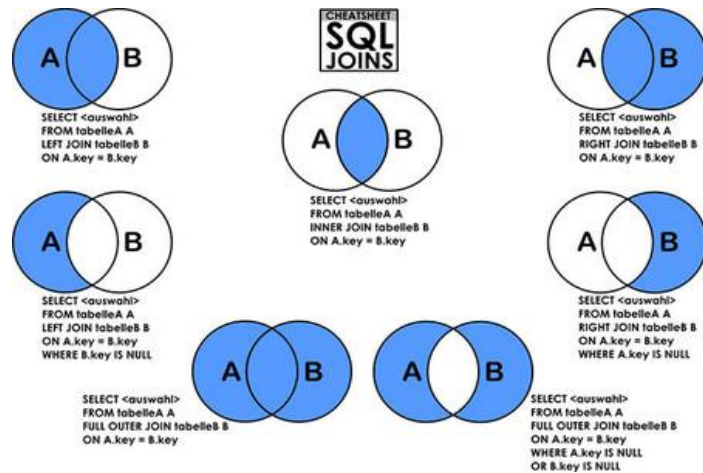


Fig. 51. Joins



El sistema además cuenta con la posibilidad de visualizar determinados contenidos a través de una página web de acceso local. La misma se realizó por medio de los lenguajes HTML (*HyperText Markup Language*, Lenguaje de Marcas de Hipertexto) y PHP (*Hypertext Preprocessor*).

HTML, hace referencia al lenguaje de marcado para la elaboración de páginas web. Es un estándar para la elaboración de páginas web en sus diferentes versiones, que define una estructura básica y un código (denominado código HTML) para la definición de contenido de una página web.

PHP es un lenguaje de programación de uso general de código del lado del servidor originalmente diseñado para el desarrollo web de contenido dinámico. Fue uno de los primeros lenguajes de programación del lado del servidor que se podían incorporar directamente en el documento HTML en lugar de llamar a un archivo externo que procese los datos.

En la página web se pueden consultar los empleados registrados en la organización y los registros horarios de los mismos, como se observa en las Fig. 52 y Fig. 53, respectivamente. Si bien estas funciones están contempladas en la interfaz de usuario, la página desarrollada constituye un mecanismo rápido y sencillo de consulta para cualquier usuario de la red local.



The screenshot shows a web browser window with the address bar displaying '127.0.0.1/ControlRFID/'. The page title is 'Listado de empleados'. The main content area features a table with the following data:

| Nombre   | Apellido | Codigo     | Dirección  | Teléfono | Email             | Documento | GrupoAsignado | Acciones                 |
|----------|----------|------------|------------|----------|-------------------|-----------|---------------|--------------------------|
| Maria    | Luisa    | 65ADW2R453 | Gaboto 312 | 4435676  | mluisa@gmail.com  | 15768943  | Oficina       | <a href="#">registro</a> |
| Fernando | Garcia   | ACD2231GF5 | Chile 312  | 4657890  | fgarcia@gmail.com | 10989654  | Planta        | <a href="#">registro</a> |
| Juan     | Perez    | 75FT12ASDE | Bosch 743  | 4511256  | jperez@gmail.com  | 12121345  | Planta        | <a href="#">registro</a> |

Below the table, it indicates 'Mostrando registros del 1 al 3 de un total de 3 registros'. At the bottom right, there are navigation buttons: 'Anterior', '1', and 'Siguiete'. A copyright notice 'Copyright - Lucas Romano / Vial Axel' is visible at the bottom center.

Fig. 52. Página web - Empleados



## Listado de empleados



**Empleado: Maria Luisa**

Mostrar  registros Buscar:

| Fecha    | Hora  |
|----------|-------|
| 20/03/17 | 10:05 |
| 20/03/17 | 13:59 |
| 20/03/17 | 16:00 |
| 20/03/17 | 18:29 |
| 21/03/17 | 14:00 |

Mostrando registros del 1 al 5 de un total de 5 registros

Anterior  Siguiente

Copyright - Lucas Romano / Vial Axel

Fig. 53. Página web - Registros

# CAPÍTULO 5

## Construcción del prototipo

En esta sección, se describen la construcción de los circuitos impresos y el montaje de los mismos. En una primera instancia, se detallan las consideraciones a tener en cuenta al momento de diseñar un PCB (*Printed Circuit Board*, Placa de Circuito Impreso). Luego se abordan los distintos métodos de implementación y se desarrolla el utilizado en este proyecto. Por último, se explican el prototipo realizado y las características del mismo.

### 5.1 Consideraciones de diseño de circuitos impresos

En la etapa de diseño, es necesario definir el diagrama esquemático del circuito y el de conexiones que formarán las pistas de cobre sobre la placa. A partir de las especificaciones, se deciden los componentes a utilizar y las conexiones necesarias entre ellos, para realizar el diagrama esquemático.

Para desarrollar un correcto PCB se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Elegir adecuadamente los componentes, asegurando la disponibilidad de los encapsulados a utilizar. Antes de realizar la placa, se debe verificar cuidadosamente la conexión de cada componente y circuito integrado, así como la correspondencia de su tamaño en el PCB.
- Considerar el efecto resistivo en las pistas, diseñándolas teniendo en cuenta la longitud, grosor y máxima corriente que deban conducir.
- Verificar que la impresora no genere discontinuidades y que la impresión se encuentre en la escala correcta.
- Colocar puntos de prueba a la salida de etapas importantes, en ubicaciones de la placa donde se pueda conectar instrumental fácilmente.
- Diseñar la placa de forma estandarizada y modular, de tal manera que la fabricación y ensamblaje sean prácticos.
- No utilizar pistas ni colocar componentes cerca de los bordes de las placas donde puedan tener contacto con los tornillos de fijación.
- Considerar la separación mínima entre pistas adyacentes para garantizar un buen aislamiento eléctrico y colocar plano de masa en las partes de la placa donde no existan otras pistas.

## 5.2 Diseño de los circuitos impresos

Como se mencionó anteriormente, para realizar un circuito impreso es necesario diagramar el esquemático de las conexiones entre los distintos componentes y conectores. En este proyecto el programa utilizado fue Altium Designer, que es un software para el diseño electrónico en todas sus fases y para todas las disciplinas, ya sean esquemas, simulación, diseño de circuitos impresos, implementación de FPGA, o desarrollo de código para microprocesadores.

En las Fig. 54 y Fig. 55 se presenta el esquemático implementado y el diseño del circuito impreso desarrollado a partir del mismo. Una representación 3D del PCB con los componentes se observa en la Fig. 56.

Cabe destacar que los módulos independientes que no están incluidos en este PCB son el RTC, la pantalla de cristal líquido, el RFID RC-522 y el Bluetooth, además de las posibles expansiones.

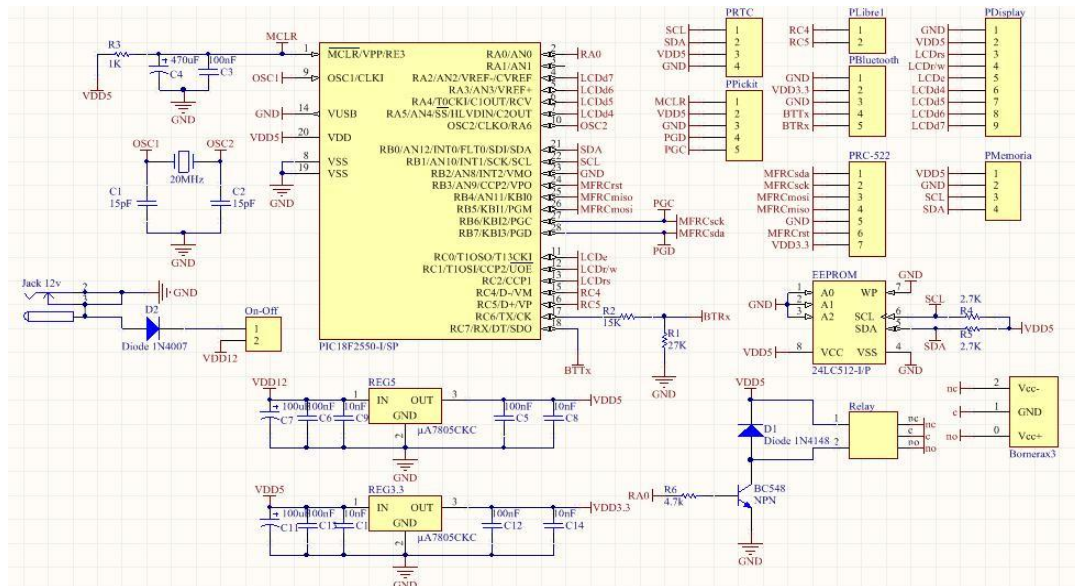


Fig. 54. Esquemático del sistema

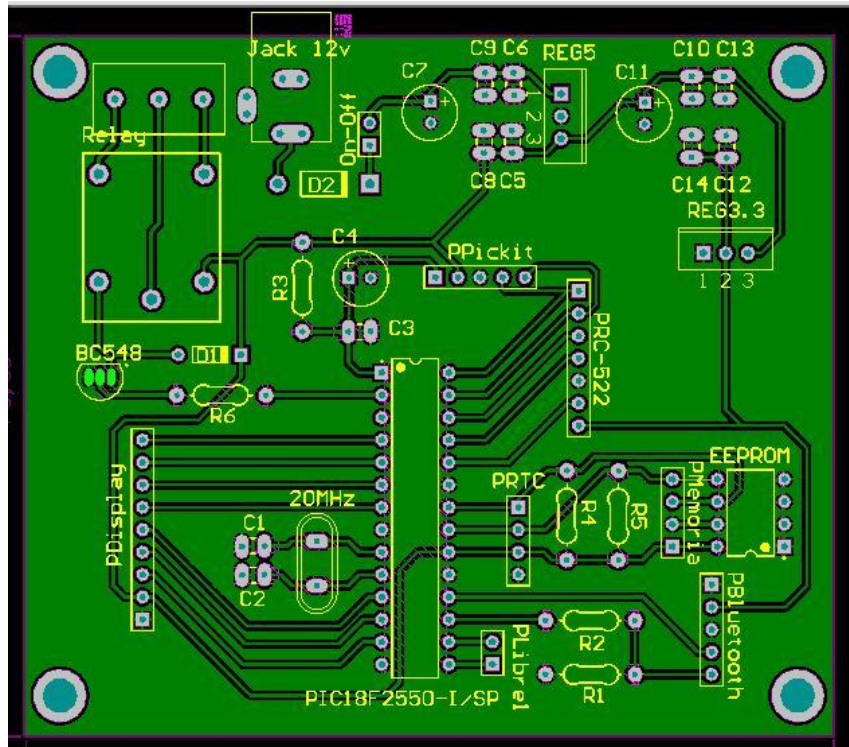


Fig. 55. PCB

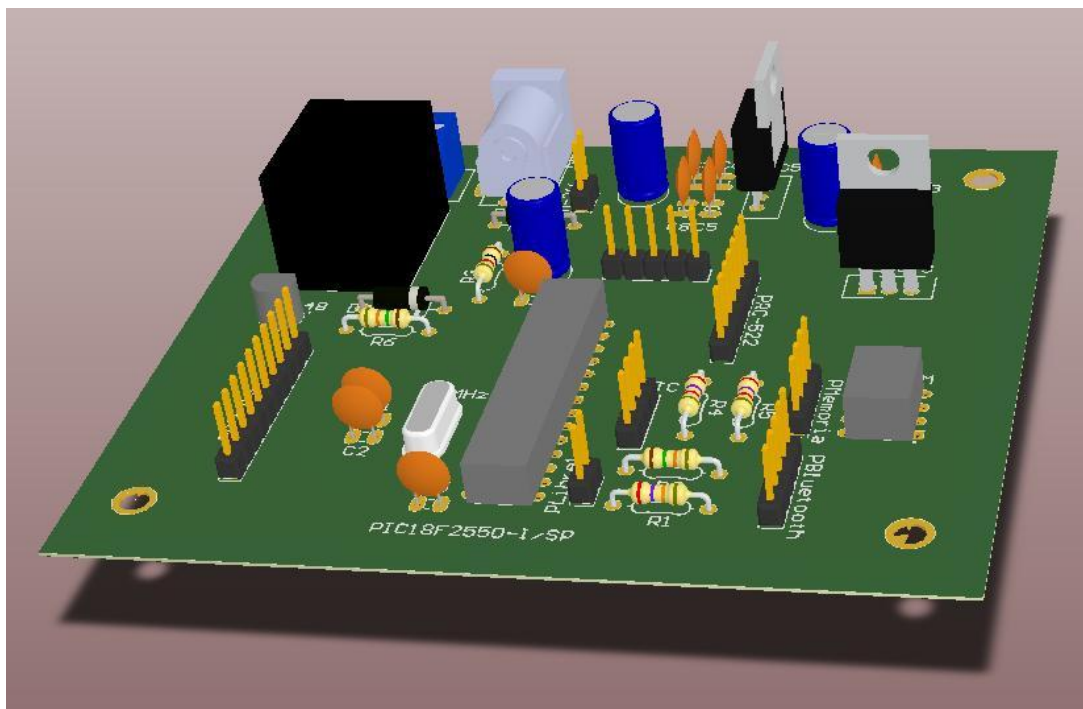


Fig. 56. Ilustración 3D del PCB y componentes

### 5.3 Implementación del circuito impreso

Las técnicas de construcción de circuitos impresos precisan no sólo buena resolución, sino también baja tolerancia de construcción. Estos requerimientos se deben a que existen componentes electrónicos con alta densidad de pines y se pueden presentar diseños con gran cantidad de pistas o baja separación entre las mismas.

Existen diversos métodos para la realización de circuitos impresos, entre los cuales se pueden mencionar:

- Circuitos impresos elaborados con tinta indeleble: Este método se realiza mediante el dibujo manual de las pistas del circuito con tinta indeleble. Es decir, solamente es necesario tinta indeleble, la placa donde se plasma el diseño y el agente que se encarga de corroer la superficie de cobre no deseada.
- Circuitos impresos elaborados con logotipo: Esta técnica consiste en colocar sobre la placa logotipos (calcomanías) que tienen diversas figuras, como pistas y terminales de componentes. Las calcomanías tienen la característica de que inhiben la acción corrosiva sobre la superficie cubierta.
- Circuitos impresos elaborados con la técnica de serigrafía: La serigrafía es una técnica de impresión empleada en el método de reproducción de documentos e imágenes sobre cualquier material. En este caso, consiste en revelar la seda con el diseño del circuito impreso.
- Circuitos impresos elaborados con la técnica de luz ultravioleta: El método fotográfico para la elaboración de circuitos impresos se lleva a cabo a partir de un fotolito negativo y por medio de luz ultravioleta.

En este proyecto se utilizó la técnica de luz ultravioleta debido a las características que presenta dicho método y porque el Laboratorio de Comunicaciones cuenta con el equipo necesario para realizarlo. Como fuente de luz se utilizó un dispositivo de iluminación LED, denominado insoladora. En la Fig. 57 se muestra una imagen de la insoladora utilizada.

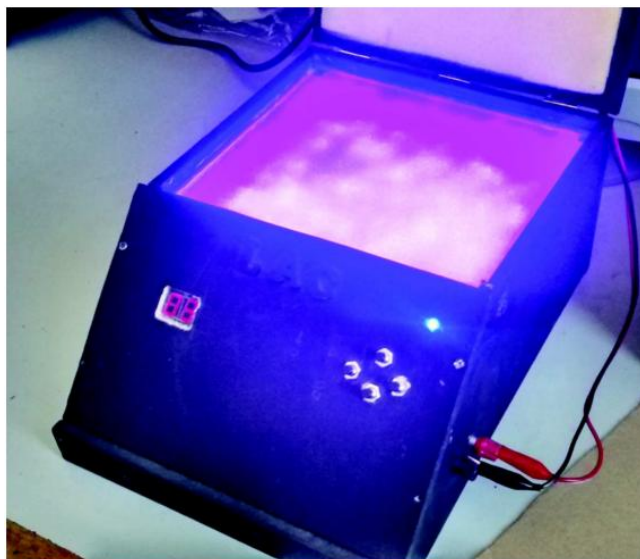


Fig. 57. Insoladora

Para la fabricación del PCB se optó por la utilización de placa de pertinax ya que cumplía los requerimientos de nuestro diseño y se consiguen a precios más económicos que las correspondientes de FR4. El módulo RFID-RC522 se encuentra montado en una placa de FR4, separado de la placa realizada, debido al manejo de altas frecuencias.

La realización del circuito impreso mediante la técnica de luz ultravioleta consta de una serie de pasos y, con el objetivo de no detener el proceso para así obtener la calidad deseada, se debe contar al comienzo con los siguientes elementos:

- Percloruro Férrico.
- Film fotosensible (se utiliza el que posee tres capas).
- Pistola de calor.
- Impresión en papel transparente del circuito impreso a realizar (en negativo).
- Revelador.
- Removedor.

Para el primer paso, se debe tomar la placa en la cual se desea realizar el circuito y limpiarle la suciedad de modo uniforme. Antes de continuar, debe asegurarse que el ambiente en el cual se realice el procedimiento posea una iluminación tenue para no revelar el film antes de completar el proceso. Una vez finalizado el primer paso, se debe recortar el film fotosensible del tamaño de la placa. Se pueden observar tres capas del film, siendo las exteriores una opaca y otra brillante. Primero, se debe remover la capa opaca que es más gruesa que las demás. Para removerla de modo simple, se debe colocar un adhesivo sobre dicha capa y luego retirarla

lentamente hasta que se desprenda de las dos restantes. Antes de colocar el film se debe rociar la placa con agua para humedecerla, con el fin de poder mover el film y colocarlo en la mejor posición.

Una vez colocado el film, se debe presionar con un paño toda la superficie hasta no dejar rastros ni de burbujas ni de agua. Luego de pasar el paño, se calienta el film con la pistola de calor para que el agua restante sea evaporada, aunque por un corto plazo para no perder la adhesión del film. Esta última acción se debe repetir alternadamente con el paño y la pistola de calor entre tres o cuatro veces hasta notar la perfecta adhesión del film. Una vez adherido, se debe dejar reposar entre 5 y 10 minutos hasta que se enfríe la placa para poder realizar el siguiente paso.

Una vez que la placa se enfría se debe colocar sobre ella el circuito impreso que se desea transferir a la misma, utilizando papel transparente e impresión en negativo. La placa con la impresión se colocan sobre el vidrio esmerilado, el cual iluminará con luz ultravioleta durante el tiempo necesario. Este tiempo depende del espesor y la separación de las pistas del circuito a construir.

Finalizado el tiempo de exposición, se debe remover el segundo film autoadhesivo y colocar la placa en revelador durante un breve período. Con la ayuda de un pincel, se debe ir removiendo los excesos, es decir las porciones expuestas a la luz ultravioleta.

En la Fig. 58 se muestra el resultado obtenido una vez transcurrido el tiempo de exposición de la placa en la insoladora.

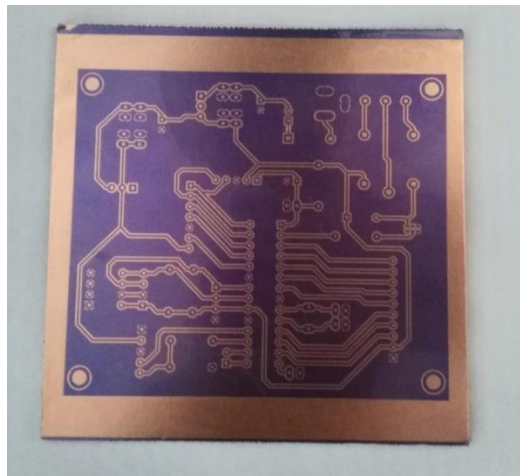


Fig. 58. PCB luego de exposición a luz ultravioleta



El siguiente paso consiste en colocar la placa dentro de percloruro férrico para remover todo el cobre no deseado. Por último, se debe pasar la placa por el removedor basado en soda cáustica para que quite los restos del film que permanecen adheridos. Luego de un pequeño período de tiempo se obtendrá el PCB final, como se muestra en la Fig. 59.

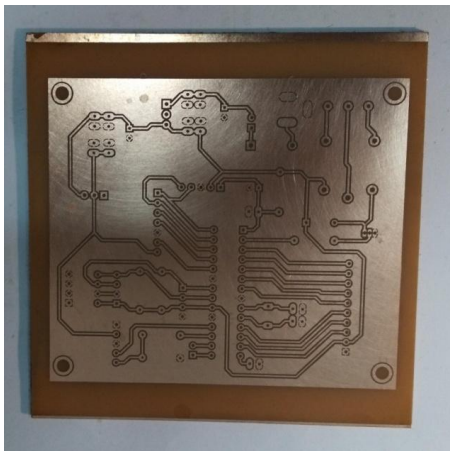


Fig. 59. PCB final

#### 5.4 Ensamblado del prototipo

Una vez realizado el PCB propuesto para el proyecto, el paso siguiente consistió en el montaje de los componentes. La Fig. 60 muestra la placa con todos los componentes ya soldados.

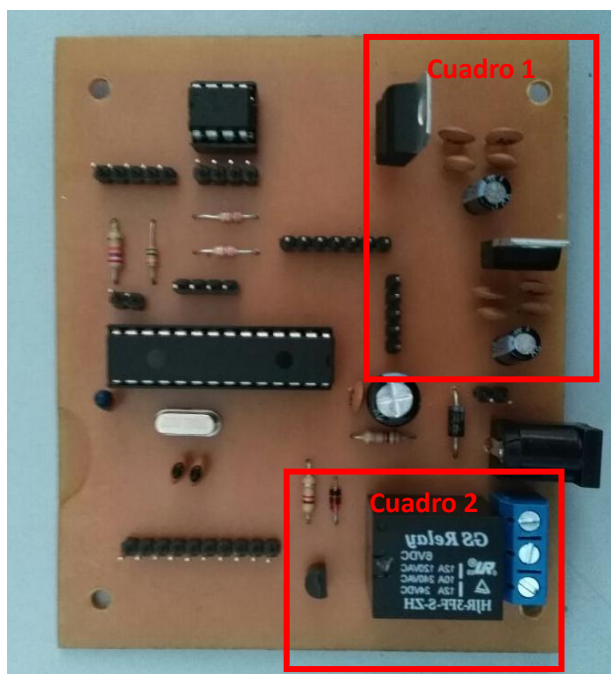


Fig. 60. PCB con los componentes soldados

En el cuadro 1 de la Fig. 60 se resalta la etapa de regulación de voltajes. Si bien se utiliza una fuente de alimentación externa de 12 V, se precisan tensiones de 5 V y 3.3 V para el correcto funcionamiento de los dispositivos empleados. Para la etapa de 5 V se utilizó el regulador LM7805 mientras que para la de 3.3V se seleccionó el LD33V. Ambos reguladores se conectaron con los capacitores necesarios para tener la tensión adecuada y lo más libre de ruido posible.

Los postes que se pueden apreciar en la Fig. 60 corresponden a los conectores entre la placa principal y los módulos RFID-RC522, Bluetooth, display y RTC.

Con el objetivo de permitir el acceso a un establecimiento, se ofrece la posibilidad de incorporar una cerradura magnética como complemento del control de asistencia del personal. Se ideó la utilización de una cerradura magnética basada en un electroimán que se activa con una tensión continua de 12V. Para la activación del electroimán se utilizó un relé de 5V que se encarga de permitir o no el paso de corriente. Dicho relé se activa mediante un transistor BC548 cuya base se conecta mediante una resistencia al micro-controlador PIC18F2550. Para poder conectar la cerradura al equipo se dispuso de un conector tipo bornera de 3 pines. Dicha implementación se muestra en el cuadro 2 de la Fig. 60.

El paso siguiente consistió en el ensamblado del PCB y el resto de los componentes (módulos y display) en un gabinete plástico. Se buscó un gabinete que cumpla las condiciones de espacio necesarias para el proyecto y que posea un diseño agradable. Para lograrlo se realizaron todas las fijaciones correspondientes.

En la Fig. 61 se observan la disposición de todos los módulos y placas.

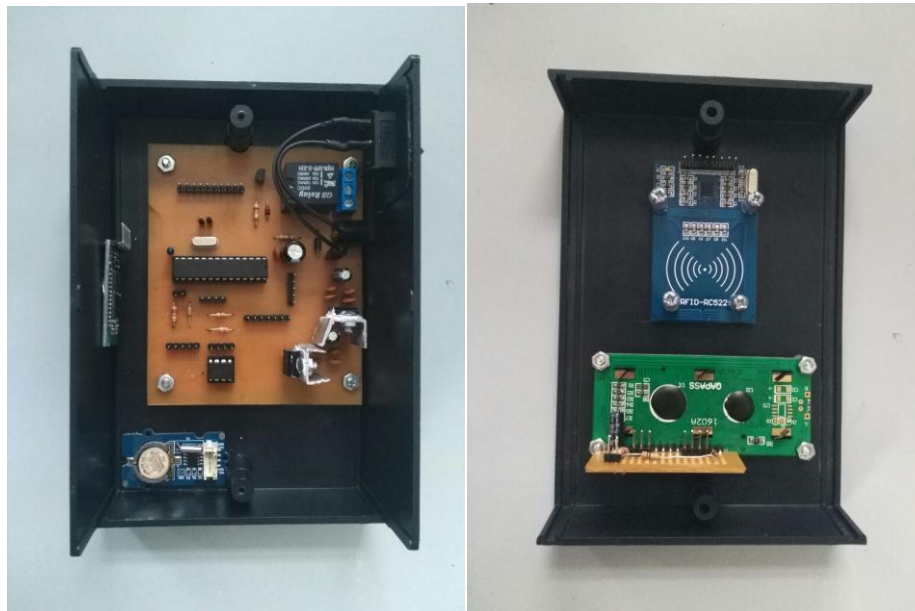


Fig. 61. Disposición dentro del gabinete

El equipo final junto con los *tags* a utilizar por parte del personal se observa en la Fig. 62.

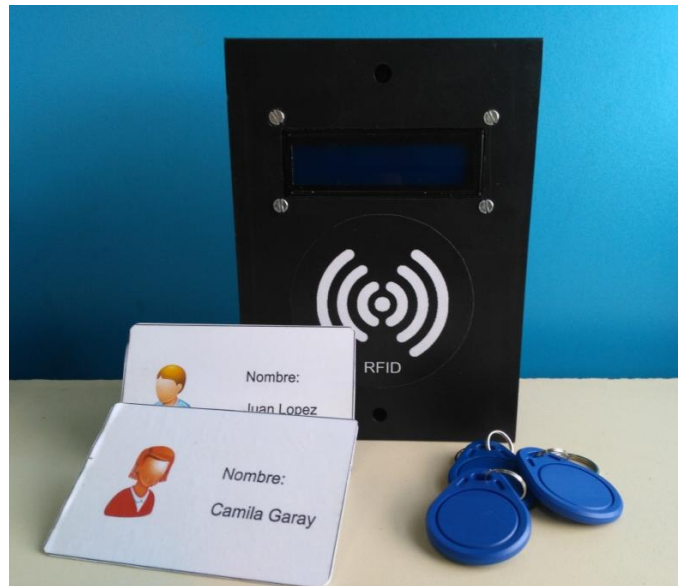


Fig. 62. Equipo final

En la Fig. 63 se muestra el equipo en funcionamiento.



Fig. 63. Equipo en funcionamiento

# CAPÍTULO 6

## Conclusiones

Una de las primeras dificultades que presentó el proyecto fue la programación simultánea de la interfaz de usuario y de la base de datos por medio de dos lenguajes totalmente distintos. Respetar la sintaxis de SQL al mismo tiempo que la de VB.NET se dificulta, a pesar de contar con el conector adecuado, pues no se encuentran muchas referencias para su correcta utilización. Es decir, existen guías de actualización de información a partir de bases de datos ya creadas, pero no tantas acerca de la creación y administración de las mismas.

Entre los principales desafíos se resalta el diseño y desarrollo de la base de datos. En primera instancia se realizaron múltiples pruebas para familiarizarse con la programación SQL a través de VB.NET y con el paquete EasyPHP. Debido a la falta de conocimientos e inexperiencia en el tema, se diseñó en principio una base de datos poco óptima, en la que se recurría a la creación de una tabla por cada empleado agregado, lo que implicaba un incremento constante en el número de tablas y, por ende, del tamaño de la propia base de datos. Por otro lado, este esquema inicial repetía información en diferentes tablas para lograr establecer relaciones entre ellas, y no permitía la eliminación de ciertas tablas ya que desencadenaba errores.

Por todas estas razones, se tuvo que rediseñar la base de datos a partir de nuevos conocimientos adquiridos durante el desarrollo del proyecto. La comprensión del concepto de base de datos relacional y su implementación permitió establecer relaciones entre los datos almacenados en las tablas. Las ventajas de aplicar este modelo derivaron en la minimización de las redundancias en los datos, disminuyendo además problemas de actualización de los mismos, logrando reducir sustancialmente el número de tablas creadas.

Por su parte, el tratamiento de los datos generó algunos inconvenientes en cuanto a su formato y compatibilidad. Por ejemplo, diferentes etapas de procesamiento pueden presentar diferentes necesidades. En términos generales, los datos son obtenidos, asociados y almacenados en la memoria del equipo hasta que son procesados por la aplicación del ordenador y posteriormente almacenados en la base de datos.

Al analizar la forma de almacenar los datos en el equipo, se discutieron dos posibles opciones: una memoria SD (*Secure Digital*, Seguro Digital) o una EEPROM. Para la decisión se tuvieron en cuenta factores tales como capacidad de la memoria, protocolo de comunicación, seguridad y precio. En este sentido, las memorias SD presentan mucha mayor capacidad que las EEPROM, lo que permitiría mayor autonomía del equipo lector, sin necesidad de transmitir datos

hacia el ordenador para liberar espacio. Otra de las diferencias entre ambos tipos de memoria es la facilidad de extracción de la misma. Dependiendo del interés que se tenga en posibilitar el acceso al retiro de la memoria de su posición original, se debe considerar la simple extracción de una memoria SD con respecto a una EEPROM, ya que esta última generalmente se encuentra soldada al circuito impreso. En cuanto al protocolo de comunicación que emplea cada una, cabe considerar la disponibilidad de pines del sistema a desarrollar. Por otro lado, si bien depende del fabricante y de la capacidad en cuestión, el precio de compra de una memoria SD es superior al de una EEPROM.

Considerando las características mencionadas, se optó por emplear la memoria EEPROM 24LC512. Aunque posee menor capacidad de almacenamiento que una SD, esto no representó un inconveniente ya que el sistema RFID desarrollado contempla la transmisión automática de datos al traspasar cierto umbral de posiciones de memoria. También ofrece la posibilidad de ejecución manual de transferencia de datos a través de la interfaz de usuario.

Por otra parte, se prefirió utilizar el protocolo de comunicación I<sup>2</sup>C propio de la EEPROM por sobre el SPI de la SD. Esto es debido a que el micro-controlador presenta todos los pines para el protocolo SPI ocupados y una realización por software de la misma para el módulo RFID. Además, en este equipo sólo el RTC emplea el protocolo I<sup>2</sup>C y permitía compatibilidad con la EEPROM. Por otro lado, se eligió no ofrecer la opción de extraer la memoria del equipo por cuestiones de seguridad. Finalmente, el precio de compra de una memoria SD representaba un aumento considerable del costo del sistema desarrollado.

Al plantear un sistema de registro de personal mediante RFID, surge la problemática del traspaso de la tarjeta de identificación entre empleados para efectuar la lectura. Este es una desventaja que no se puede solucionar empleando la misma tecnología ya que cualquier tipo de transpondedor bajo cualquier protocolo es transferible, a excepción de los que se pueden implantar en el cuerpo humano.

Por otra parte, el rango es de 5 cm debido a la tecnología y protocolo utilizados, si bien no representa un inconveniente en sí, ya que no altera su funcionalidad ni su propósito, dependiendo del usuario final se podría optar por un mayor alcance de lectura. Debido a los requerimientos particulares de cada organización, podría existir la necesidad de leer los transpondedores asociados a los empleados a mayor distancia que la que presenta el equipo realizado en este proyecto. La solución a este requisito implica el reemplazo del lector utilizado por otro con soporte ISO/IEC 15693. Este estándar presenta la misma frecuencia de funcionamiento, 13.56 MHz, pero un alcance de hasta 1.5 metros. Existen lectores con soporte ISO/IEC 15693 e ISO/IEC 14443, pero debido al incremento del precio del producto final y la reducida o nula disponibilidad en el mercado local, sólo amerita el reemplazo en ciertas circunstancias específicas.

En comparación con otros sistemas de registro de personal mediante RFID presentes en el mercado, el sistema desarrollado en este proyecto incluye tanto el equipo lector como la aplicación de interfaz y administración de datos.

Otra ventaja que presenta el equipo es la posibilidad de operar de manera autónoma sin la necesidad de conexión permanente a un ordenador, como sí sucede con otros equipos comerciales. Esta característica, sumada a un diseño compacto y a la posibilidad de comunicación inalámbrica Bluetooth, habilita la instalación y utilización del equipo en cualquier ámbito de trabajo.

Cabe destacar que la interfaz de usuario se presenta de la forma más sencilla posible. Su diseño y funcionalidad permiten al administrador realizar todas las operaciones, actualizaciones y visualización de los datos de manera intuitiva, evitando así que ocurran errores o se generen repeticiones de la información.

Finalmente, a partir del desarrollo de un sistema RFID para control de asistencia resultaría sencillo utilizar los resultados para plantear otro sistema con otros fines, ya que la administración de la información se podría realizar de manera similar. Así, el concepto general es el mismo para cualquier aplicación y consiste en la adquisición del código de identificación por parte de un equipo lector, la transmisión hacia un ordenador, la utilización de una aplicación administradora y el almacenamiento en una base de datos junto con información asociada. Si bien se debe evaluar cuál protocolo de comunicación RFID se adecúa a cada aplicación particular o cuáles productos se tienen a disposición, el diseño y elaboración del procedimiento de tratamiento de los datos, su transmisión y almacenamiento constituye un gran paso debido a la importancia que tiene en la gestión de información de un sistema RFID.

Debido a la desventaja que presenta el equipo frente al intercambio de tarjetas entre individuos, una solución posible es el agregado de un sensor biométrico dactilar para reemplazar o trabajar en conjunto con el sistema RFID. Por un lado se soluciona el problema ya que la identificación es unívoca e intransferible, pero representa un incremento sustancial del precio final del equipo, debido al todavía alto costo propio del nuevo sensor. Además se debe tener en cuenta el ambiente de aplicación y las características del empleo, ya que los sistemas biométricos dactilares son de contacto y pueden presentar inconvenientes en cuanto al desgaste, requiriendo mayor mantenimiento. Desde el punto de vista educativo, la investigación y desarrollo acerca de la identificación por radiofrecuencia ofrece más versatilidad y conocimientos más ricos al tratarse de una tecnología con grandes expectativas de crecimiento.

Una de las características más importantes del equipo es la operatividad sin necesidad de conexión permanente al ordenador. Cuando requiere transferir datos utiliza la comunicación inalámbrica Bluetooth y luego se desvincula. Una mejora posible consiste en reemplazar la comunicación Bluetooth por una comunicación WiFi, de forma de mantener el funcionamiento y lograr mayor alcance en el enlace entre el ordenador y el equipo.

Más allá del protocolo de comunicación empleado, el diseño del sistema implica guardar los registros en una unidad de almacenamiento externa y establecer una conexión con el ordenador para la transmisión de los mismos cada cierto intervalo de tiempo. De no concretarse la conexión, la transferencia de información no ocurriría y la memoria continuaría almacenando datos hasta llegar a su capacidad máxima. Una forma de extender el tiempo de autonomía es aumentar la capacidad añadiendo memorias EEPROM en cascada, como lo permite la memoria utilizada. Además, de esta manera se podría aumentar la cantidad de empleados almacenados. A pesar de que no hay un impedimento en la cantidad de empleados, existe una relación de compromiso entre el número de códigos de identificación a guardar y la capacidad de almacenamiento de registros antes de alcanzar el límite de la memoria empleada.

Con respecto a la aplicación desarrollada para la visualización y administración de datos por parte del usuario, se podría proponer agregar ciertas funciones dependiendo de aplicaciones adicionales que podrían requerirse a nivel organizacional. Por ejemplo, asociar el mecanismo de control de asistencia que ya considera días laborables y no laborables, feriados y licencias, a un sistema de cálculo de sueldos y primas.

Finalmente, cabe destacar que la realización de este proyecto significó un aprendizaje muy valioso debido a que se profundizaron conceptos adquiridos durante la carrera de Ingeniería Electrónica, tales como diseño de placas mediante el programa Altium Designer y su posterior elaboración, conceptos relacionados con la programación en C y con el diseño de circuitos. Además se obtuvieron nuevos conocimientos relacionados con el desarrollo y la administración de una base de datos, la programación en el lenguaje VB.NET y todos los conceptos vinculados al funcionamiento y estructura de un sistema RFID.

El trabajo en equipo también resultó en una experiencia muy enriquecedora ya que permitió la combinación de distintos puntos de vista para generar ideas y soluciones, y promovió la complementariedad y el aprendizaje el uno del otro.

Además se valoró enormemente la posibilidad de trabajar en el Laboratorio de Comunicaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Mar del Plata, por la posibilidad que implicó de relacionarse con profesionales y estudiantes, y de esta manera aprovechar desde conocimientos específicos hasta experiencias y consejos.

También resultó una experiencia interesante enfrentarse con todas las fases relacionadas con el desarrollo de un producto desde su concepción como idea, hasta la determinación de requisitos particulares, teniendo en cuenta el análisis de productos similares, hasta llegar a la etapa de diseño final, siempre teniendo presente las funcionalidades exigidas y las facilidades posibles de ofrecer al usuario final del equipo.

# Bibliografía

1- H. Stockman , “Communication by Means of Reflected Power”, *Proceedings of the IRE* vol. 36, pp. 1196 – 1204, Oct. 1948.

2 -F. Vernon , “Applications of Microwave Homodyne”, *Transactions of the IRE Professional Group on Antennas and Propagation* vol. 4,pp. 110 – 116, December 1952.

3 - D. B. Harris, “Radio Transmission Systems with Modulatable Passive Responder”, U.S. Patent 2927321, March 1, 1960.

4- “PIC18F2550” (Hoja de datos). Disponible en:  
<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39632e.pdf>

5- “MFRC522” (Hoja de datos). Disponible en:  
[https://www.nxp.com/documents/data\\_sheet/MFRC522.pdf](https://www.nxp.com/documents/data_sheet/MFRC522.pdf)

6- “LCD” (Hoja de datos). Disponible en: <http://www.datasheetspdf.com/datasheet/1602A-1.html>

7- “MAX232” (Hoja de datos). Disponible en: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/max232.pdf>.

8- “DS1307” (Hoja de datos). Disponible en:  
<https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS1307.pdf>

9- “EEPROM24LC512” (Hoja de datos). Disponible en:  
<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/21754M.pdf>

10- “BLUETOOTH” (Hoja de datos). Disponible en:  
<http://www.electronicaestudio.com/docs/istd016A.pdf>

K.Finkenzeller, *RFID Handbook*, 3rd. ed. Reino Unido: Wiley, 2010

D. Paret, *RFID at Ultra and Super High Frecuencies Theory and application*, 2nd. ed. Reino Unido: Wiley, 2009

J. Curty, M.Declercq, C. Dehollain, N. Joehl, *Desing and Optimization of Passive UHF RFID Systems*, 2nd. ed. Nueva York: Springer, 2007

A. Rida, L. Yang, M. Tenzeris, *RFID-Enabled Sensor Design and Applications*, 1st. ed. Massachusetts: Artech House, 2010

“RFID”. Disponible en: [www.rfidjournal.com](http://www.rfidjournal.com)



“MySQL”. Disponible en: [www.mysql.com](http://www.mysql.com)

“Visual Basic”. Disponible en: [www.recursovisualbasic.com.ar](http://www.recursovisualbasic.com.ar)