



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE COBRO PARA TAXIS UTILIZANDO
IDENTIFICACIÓN POR RADIOFRECUENCIA**

Erwin José Fernando Choquín Sales

Asesorado por la Inga. Ingrid Salomé Rodríguez de Loukota

Guatemala, junio de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE COBRO PARA TAXIS UTILIZANDO
IDENTIFICACIÓN POR RADIOFRECUENCIA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

ERWIN JOSÉ FERNANDO CHOQUÍN SALES

ASESORADO POR LA INGA. INGRID SALOMÉ RODRÍGUEZ DE LOUKOTA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO EN ELECTRÓNICA

GUATEMALA, JUNIO DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL I	
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodriguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Jorge Gilberto González Padilla
EXAMINADORA	Inga. María Magdalena Puente Romero
EXAMINADOR	Ing. Helmut Federico Chicol Cabrera
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DISEÑO DE UN SISTEMA DE COBRO PARA TAXIS UTILIZANDO IDENTIFICACIÓN POR RADIOFRECUENCIA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 13 de octubre de 2014.


Erwin José Fernando Choquín Sales

Guatemala 3 de febrero de 2015

Ingeniero
Carlos Eduardo Guzmán Salazar
Coordinador del Área de Electrónica
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

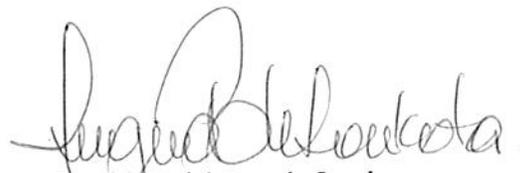
Estimado Ingeniero Guzmán.

Me permito dar aprobación al trabajo de graduación titulado: **Diseño de un sistema de cobro para taxis utilizando identificación por radiofrecuencia**, del señor **Erwin José Fernando Choquín Sales**, por considerar que cumple con los requisitos establecidos.

Por tanto, el autor de este trabajo de graduación y, yo, como su asesora, nos hacemos responsables por el contenido y conclusiones del mismo.

Sin otro particular, me es grato saludarle.

Atentamente,



Inga. Ingrid Rodríguez de Loukota
Colegiada 5,356
Asesora

Ingrid Rodríguez de Loukota
Ingeniera en Electrónica
colegiado 5356



Ref. EIME 17. 2015
Guatemala, 11 de febrero 2015.

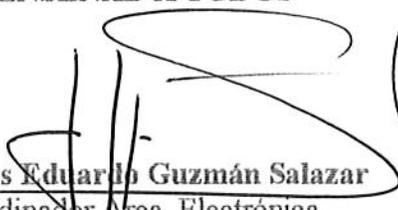
Señor Director
Ing. Guillermo Antonio Puente Romero
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:
**DISEÑO DE UN SISTEMA DE COBRO PARA TAXIS
UTILIZANDO IDENTIFICACIÓN POR RADIOFRECUENCIA** del
estudiante, **Erwin José Fernando Choquín Sales**, que cumple con los
requisitos establecidos para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,
D Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. 
Coordinador Área Electrónica



S/O



REF. EIME 17. 2015.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; ERWIN JOSÉ FERNANDO CHOQUÍN SALES titulado: DISEÑO DE UN SISTEMA DE COBRO PARA TAXIS UTILIZANDO IDENTIFICACIÓN POR RADIOFRECUENCIA, procede a la autorización del mismo.

Ing. Guillermo Antonio Puente Romero



GUATEMALA, 10 DE ABRIL 2015.



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DE UN SISTEMA DE COBRO PARA TAXIS UTILIZANDO IDENTIFICACIÓN POR RADIOFRECUENCIA**, presentado por el estudiante universitario: **Erwin José Fernando Choquin Sales**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Angel Roberto Sic García
Decano



Guatemala, junio de 2015

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por ser una luz en mi camino guiando siempre mis pasos, y porque siempre me ha brindado la fuerza necesaria para alcanzar mis objetivos y metas.
- Mis padres** José Fernando Choquín y Victoria Sales, porque son ellos todo mi ejemplo de vida, y me han ayudando a ser una mejor persona con su comprensión, apoyo y enseñanzas.
- Mis hermanas** Victoria, Lourdes e Idalma Choquín, por todo lo que me han enseñado a lo largo de mi vida y porque siempre han estado apoyándome y motivándome a seguir adelante.
- Mis amigos** Por todo el apoyo y colaboración que me brindaron incondicionalmente, ayudándome a cumplir mis metas.
- Mis compañeros de estudios** Porque todos ellos han influido de cierta forma en mi vida, ayudándome a conseguir siempre lo que me he propuesto.

AGRADECIMIENTOS A:

Inga. Ingrid de Loukota

Por su apoyo y asesoría en este trabajo de graduación, brindándome su ayuda, tiempo y conocimiento para que pudiera finalizar este proyecto.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. SISTEMA DE IDENTIFICACIÓN POR RADIOFRECUENCIA (RFID).....	1
1.1. Principio de funcionamiento.....	1
1.1.1. Frecuencias de radio	2
1.1.2. Modulación	4
1.1.3. Bandas de frecuencia para los sistemas RFID	4
1.2. Componentes de un sistema RFID.....	5
1.2.1. Unidad de lectura y escritura RFID.....	6
1.2.2. Etiquetas de radiofrecuencia	7
1.2.2.1. Etiquetas RFID pasivas	8
1.2.2.2. Etiquetas RFID semipasivas.....	9
1.2.2.3. Etiquetas RFID activas	9
1.2.3. Antenas	10
1.2.4. Computadora	11
1.3. Factores críticos de los sistemas RFID	11
1.3.1. Potencia de transmisión	12
1.3.2. Tamaño de las antenas	12
1.3.3. Tamaño y tipo de etiquetas.....	13

1.3.4.	Frecuencia de trabajo.....	13
1.3.5.	Entorno de trabajo.....	13
1.3.6.	Materiales sobre los que se trabaja.....	13
1.3.7.	Posición de la etiqueta	14
1.3.8.	Proximidad de las unidades de lectura y escritura ..	14
2.	MICROCONTROLADOR	15
2.1.	Introducción al microcontrolador PIC	16
2.1.1.	Familias del microcontrolador PIC.....	16
2.2.	Arquitectura.....	19
2.3.	Procesador CPU	20
2.4.	Configuración del oscilador	22
2.5.	Memoria	22
2.5.1.	Memoria de programa	23
2.5.2.	Memoria RAM	23
2.5.3.	Memoria EEPROM.....	24
2.6.	Puertos digitales de E/S.....	24
2.6.1.	Puertos de comunicación	26
2.6.2.	Comunicación en serie.....	26
2.6.2.1.	Comunicación asincrónica.....	27
2.6.2.2.	Comunicación sincrónica.....	27
2.6.3.	El puerto serie USART de los microcontroladores ..	28
2.7.	Interrupciones	29
2.8.	Microcontrolador PIC16F887	30
2.8.1.	Descripción del patillaje.....	31
2.9.	Programación del microcontrolador	32
2.9.1.	Escritura del código.....	32
2.9.2.	<i>PIC Simulator IDE</i>	35
2.9.3.	Carga del código al PIC.....	37

3.	MÓDULOS PERIFÉRICOS ADICIONALES	39
3.1.	Módulo RFID-UART <i>Reader/Writer</i>	39
3.1.1.	Componentes del módulo RFID-UART <i>Reader/Writer</i>	41
3.1.2.	Circuito integrado MFRC522	42
3.1.3.	Flujo de señales en la operación de lectura y escritura	43
3.2.	Tarjetas RFID <i>MIFARE</i>	43
3.2.1.	Componentes	44
3.2.2.	Características del chip MF1 IC.....	45
3.2.3.	Organización de la memoria EEPROM	46
3.2.3.1.	<i>Sector Trailer</i>	47
3.3.	Módulo LCD 2x16.....	48
3.3.1.	Componentes	50
3.3.2.	Patillaje	50
3.3.3.	Controlador Hitachi HD44780U	51
3.3.4.	Señales de datos y control para desplegar texto en el módulo LCD	52
3.4.	Teclado matricial	54
4.	DISEÑO DEL SISTEMA DE COBRO.....	57
4.1.	Esquema de bloques del sistema de cobro.....	57
4.2.	Diagrama de conexiones del microcontrolador.....	58
4.2.1.	Circuito de alimentación	59
4.2.2.	Conexión de los módulos	59
4.2.3.	Otros componentes	61
4.2.4.	Diseño del circuito impreso en placa	61
4.3.	Programa del microcontrolador PIC16F887	63
4.3.1.	Diagrama de flujo.....	64

4.3.2.	Algoritmo del código del programa.....	65
4.3.3.	Descripción de comandos y librerías.....	66
4.3.4.	Parámetros de compilación en <i>PIC Simulator IDE</i>	68
4.3.5.	Grabación del programa.....	68
4.4.	Descripción del teclado matricial.....	69
4.5.	Funcionamiento final del sistema de cobro	70
4.5.1.	Inicialización y apagado del sistema	70
4.5.2.	Descripción del sistema de cobro.....	70
4.5.3.	Procedimiento para utilizar el sistema de cobro	74
4.5.4.	Propuesta para adquirir saldo a través de la tarjeta RFID	75
4.5.4.1.	Sistema prepago	76
4.6.	Inversión económica	77
4.6.1.	Cotización del sistema propuesto.....	77
CONCLUSIONES.....		79
RECOMENDACIONES		81
BIBLIOGRAFÍA.....		83

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Forma de onda sinusoidal en el tiempo.....	2
2.	Componentes de un sistema RFID	6
3.	Etiquetas RFID.....	8
4.	Diferentes diseños de antenas.....	10
5.	Clasificación y familias de los PIC.....	17
6.	Estructura de la arquitectura Harvard.....	19
7.	Proceso de segmentación de instrucciones	21
8.	Conexión entre un microcontrolador y un periférico.....	25
9.	Modos de conexión serie del microcontrolador	28
10.	Diagrama de pines del PIC16F887	31
11.	Proceso de programación de un microcontrolador.....	32
12.	Módulo RFID-UART <i>Reader/Writer</i>	40
13.	Componentes del módulo RFID-UART	41
14.	Ejemplo de señal electromagnética del módulo RFID.....	43
15.	Tarjeta RFID de 13,56 MHz	44
16.	Organización de memoria de las etiquetas MIFARE de 1 KB.....	46
17.	Estructura del sector 0, bloque 0.....	47
18.	Organización del <i>Sector Trailer</i>	48
19.	Módulo LCD 2x16	49
20.	Caracteres definidos en la memoria CGRAM	52
21.	Flujo de señales de escritura en el módulo LCD.....	53
22.	Teclado matricial de 16 teclas.....	54
23.	Conexión del teclado matricial de 16 teclas con el PIC.....	55

24.	Esquema de bloques del sistema de cobro	58
25.	Diagrama circuital de la placa del PIC	62
26.	Diagrama del circuito impreso de la placa del PIC.....	63
27.	Diagrama de flujo del sistema de cobro.....	64
28.	Descripción del teclado matricial.....	69
29.	Pantalla de logotipo	71
30.	Pantalla de inicio.....	71
31.	Pantalla principal.....	72
32.	Pantalla de cobro	72
33.	Pantallas de pago	73
34.	Pantalla de saldo insuficiente	74
35.	Pantalla de error	74

TABLAS

I.	Espectro electromagnético	3
II.	Descripción de patillaje del módulo LCD	50
III.	Conexión PIC y el módulo RFID-UART	60
IV.	Conexión PIC y el módulo LCD 2x16.....	60
V.	Conexión PIC y el teclado matricial	60
VI.	Listado de componentes electrónicos del circuito del PIC	77
VII.	Listado de componentes electrónicos del circuito del módulo LCD	78
VIII.	Listado de módulos periféricos adicionales	78

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Amperio
cm	Centímetro
GHz	<i>Gigahertz</i>
Hz	<i>Hertz</i>
KB	<i>Kilobyte</i>
KHz	<i>Kilohertz</i>
MHz	<i>Megahertz</i>
uA	Microamperio
uF	Microfaradio
mA	Miliamperio
ms	Milisegundo
nA	Nanoamperio
nF	Nanofaradio
V	Voltio

GLOSARIO

ALU	Unidad aritmética lógica.
AM	Amplitud modulada.
Antena	Conductor metálico utilizado en los dispositivos emisores o receptores, tiene formas diversas y se utilizan para emitir o recibir ondas electromagnéticas.
ASCII	Código estándar estadounidense para el intercambio de información.
<i>Basic</i>	Familia de lenguajes de programación de alto nivel.
Baudio	Número de unidades de señal por segundo.
BCC	Carácter de comprobación de bloque.
Bit	Unidad básica de información, puede tener solamente 2 estados lógicos posibles, 0 o 1.
<i>Byte</i>	Paquete de información formado por 8 bits.
CGRAM	Memoria de acceso aleatorio generadora de caracteres.

Circuito integrado	Pastilla pequeña de material semiconductor sobre la que se fabrican gran cantidad de circuitos.
Codificación	Proceso por el cual la información de una fuente es convertida a otra secuencia, agregando datos de control de errores, para ser comunicada.
Compilador	Programa que convierte el lenguaje informático de alto nivel empleado por el usuario en lenguaje binario.
CPU	Unidad central de procesamiento.
DDRAM	Memoria de acceso aleatorio de visualización de datos.
Decodificación	Proceso contrario a la codificación, por el cual convierte la información de entrada en datos comprensibles para el receptor.
Demodulación	Extraer la información contenida en una señal modulada.
EEPROM	Memoria de solo lectura, programable y borrable eléctricamente.
Ethernet	Estándar de la capa de acceso a la red más popular para la tecnología LAN, definida por la IEEE 802,3.

Flash	Tecnología de almacenamiento, derivada de la memoria EEPROM, que permite la lectura y escritura de múltiples posiciones de memoria en la misma operación.
GND	Tierra, en electrónica hace referencia a 0 V.
HS	Oscilador de alta velocidad.
I²C	Inter circuitos integrados, protocolo de comunicación que utiliza 2 líneas para transmitir datos.
IEEE	Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos.
IP	Protocolo de internet, permite la comunicación de datos digitales, en forma bidireccional, es clasificado funcionalmente en la capa de red del modelo OSI.
Jaula de Faraday	Efecto por el cual el campo electromagnético en el interior de un conductor en equilibrio es nulo.
LCD	Pantalla de cristal líquido.
LED	Diodo emisor de luz.
LP	Oscilador de baja potencia.
LSB	Bit menos significativo.

Microcontrolador	Circuito integrado, de alta escala de integración, que incorpora la mayor parte de los elementos que configuran un controlador.
Modulación	Acción de variar el valor de la amplitud, frecuencia o fase de una onda portadora, de alta frecuencia, en función de una señal de información de baja frecuencia.
MSB	Bit más significativo.
<i>Nibble</i>	Paquete de información formado por 4 bits.
NUID	Número de identificación no único.
OR	Puerta lógica digital que implementa la disyunción lógica.
OSI	Interconexión de sistemas abiertos, es un modelo que permitió la separación lógica de las diversas funciones necesarias para una red.
PIC	Controlador de interfaz periférico.
Protocolo	Conjunto de normas y procedimientos útiles para la transmisión de datos, conocido por el emisor y el receptor.

Radiofrecuencia	Cada una de las frecuencias de las ondas electromagnéticas, entre 3 KHz y 300 KHz.
RAM	Memoria de acceso aleatorio.
RC	Oscilador creado con una resistencia y un condensador.
RFID	Identificación por radiofrecuencia.
RISC	Computadora con juego de instrucciones reducido.
ROM	Memoria solo de lectura.
RS-232	Interfaz que designa una norma para el intercambio de datos binarios.
RS-485	Estándar de comunicaciones en bus de la capa física del modelo OSI.
RX	Receptor o recepción.
SPI	Interfaz serial periférica.
Tag	Etiqueta comúnmente autoadhesivas, se caracterizan por su flexibilidad y delgadez, pueden ser impresas con un código y la capacidad de memoria depende del circuito integrado que conforme.

TCP	Protocolo de control de transmisión.
Transceptor	Dispositivo transmisor y receptor de señales para estaciones de radiofrecuencia.
<i>Trimpot</i>	Resistor variable.
TTL	Lógica transistor a transistor.
TX	Trasmisor o transmisión.
UART	Trasmisor-receptor asíncrono universal.
UID	Número de identificación único.
USART	Trasmisor-receptor síncrono asíncrono universal.
USB	Bus universal en serie.
Wifi	Es un mecanismo de conexión de dispositivos electrónicos de forma inalámbrica.
XT	Oscilador que emplea un cristal de cuarzo.

RESUMEN

El presente trabajo de graduación tiene la finalidad de proporcionar el diseño de un sistema de cobros para taxis, con el cual se facilite el pago del servicio de transporte a los usuarios, y a su vez, contribuya con la seguridad a los taxistas.

El sistema propuesto se basa en la lectura de una tarjeta de radiofrecuencia, debitando de esta la cantidad de dinero especificada por el servicio de transporte y reescribiendo el saldo restante del usuario en dicha tarjeta, para lo cual, se empleará un sistema de lectura y escritura por radiofrecuencia.

El primer capítulo describe los aspectos generales de un sistema de identificación por radiofrecuencia y las características que poseen los sistemas RFID. El segundo capítulo describe al microcontrolador y todas sus características fundamentales para el manejo y control de los equipos, que conforman el sistema de cobro y el tercer capítulo describe las características y funcionamiento de los módulos periféricos adicionales que conforman el sistema de cobro.

El capítulo final presenta el diseño del sistema de cobro por medio de las distintas partes que lo conforman y la manera de emplear el equipo para lograr utilizarlo de forma adecuada, además detalla la conexión entre los distintos módulos y el microcontrolador, los circuitos que lo componen y el costo aproximado del proyecto.

OBJETIVOS

General

Diseñar un sistema de cobro para taxis utilizando la tecnología de identificación por radiofrecuencia.

Específicos

1. Definir los fundamentos de los sistemas de identificación por radiofrecuencia.
2. Describir la estructura, funcionamiento y programación de un microcontrolador.
3. Describir los módulos periféricos adicionales, empleados en el sistema de cobro.
4. Presentar el diseño y la descripción del funcionamiento del sistema de cobro.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad los sistemas de cobro tienen la función de brindar seguridad y comodidad a las personas que los utilizan, por lo cual deben ser sistemas prácticos y eficaces, siguiendo con estas condiciones, surgió la idea de aplicar dichos sistemas a los servicios de transporte, en especial pensando en los taxis, para brindar los beneficios que poseen los sistemas de cobro.

Para realizar un sistema de cobros para taxis, se utiliza la tecnología de identificación por radiofrecuencia, la cual permite tener un mayor control de la información almacenada, brindando sobre todo una mayor comodidad a los usuarios del sistema, ya que solo es necesario que transporten una tarjeta RFID.

El presente trabajo de graduación tiene la misión de proponer un sistema de cobro que cumpla con las necesidades y requerimientos que tiene el servicio de taxis, utilizando para ello el diseño de un sistema de identificación por radiofrecuencia. Dicho diseño plantea todo el conjunto de componentes físicos, circuitos y módulos, así como la programación de todo el sistema para que funcione correctamente.

El sistema de cobro debe estar diseñado implementando solo la cantidad necesaria de componentes útiles, para tener el beneficio de ser económico y a la vez confiable, por lo cual el diseño debe ser guiado y orientado a utilizar y optimizar los recursos necesarios.

1. SISTEMA DE IDENTIFICACIÓN POR RADIOFRECUENCIA (RFID)

El sistema RFID, por sus siglas en inglés para *Radio Frequency Identification*, se refiere a identificación por radiofrecuencia, esta tecnología permite transmitir un código mediante ondas de radio, con la finalidad de identificar y manipular dicho código.

1.1. Principio de funcionamiento

La tecnología RFID se basa en la transferencia de información por radiofrecuencia, que físicamente se desarrolla a través de la radiación de ondas electromagnéticas, portadoras de información entre la unidad de lectura escritura y una etiqueta, por medio de antenas incorporadas en ambas. Dichas ondas electromagnéticas poseen ciertas características, especialmente la de frecuencia. La tecnología RFID tiene varias ventajas como: la rapidez de lectura, la capacidad de almacenamiento, tamaño, seguridad, así como su utilización a distancia por medio de ondas de radiofrecuencia.

La radiación de ondas de radio se asocia a la perturbación eléctricomagnética en un espacio físico, moviéndose de forma oscilatoria a través del espacio y el tiempo. La forma básica de una señal generada por un transmisor es la de una onda sinusoidal. Una onda que se radia al espacio puede seguir conservando las características de una onda sinusoidal, dependiendo del tipo de modulación que se aplique.

la distribución, clasificación y aplicaciones de las ondas electromagnéticas de acuerdo a su frecuencia. Esta distribución es llamada espectro electromagnético.

Tabla I. **Espectro electromagnético**

Frecuencia	Designación	Aplicaciones
3 Hz - 30 KHz	Muy baja frecuencia (VLF)	Navegación de largo alcance, comunicación submarina.
30 KHz – 300 KHz	Baja frecuencia (LF)	Navegación de largo alcance y radiobalizas para comunicación marina.
300 KHz – 3 MHz	Media frecuencia (MF)	Radiodifusión, radio marítima, detección direccional y difusión por AM.
3 MHz – 30 MHz	Alta frecuencia (HF)	Radio de aficionado, comunicación militar, comunicación de larga distancia para aeronaves, telefonía, comunicación por fax.
30 MHz – 300 MHz	Muy alta frecuencia (VHF)	Televisión VHF, radio FM, control de tránsito aéreo, policía.
300 MHz – 3 GHz	Ultra alta frecuencia (UHF)	Televisión UHF, comunicaciones militares, banda ciudadana.
3 GHz – 30 GHz	Frecuencia súper alta (SHF)	Radar, comunicaciones por satélite, radioenlaces de microondas.
30 GHz – 300 GHz	Frecuencia extra alta (EHF)	Radioastronomía, comunicaciones ópticas.

Fuente: COUCH, Leon. *Sistemas de comunicación digitales y analógicos*. p. 11.

1.1.2. Modulación

Para utilizar las ondas electromagnéticas como medio para enviar información, debe adecuarse la frecuencia de transmisión de dichas ondas. Para ello, la señal de corriente con que se alimenta a la antena trasmisora debe ser modulada con la información.

La modulación se define como el proceso de superponer una señal de información de baja frecuencia sobre una señal portadora de frecuencia mayor. La modulación en amplitud es utilizada en los sistemas RFID y consiste en variar la amplitud de la señal portadora proporcionalmente a las variaciones de amplitud de la señal de información.

Diferentes sistemas de comunicación utilizan distintos rangos de frecuencia para transmitir información, como se indica en la tabla 1. Cada aplicación utiliza distintos tipos de modulación adaptando la información para obtener mayor confiabilidad y hacer más efectivo el intercambio de datos.

1.1.3. Bandas de frecuencia para los sistemas RFID

Existen actualmente diversos sistemas de RFID operando en distintas frecuencias. Las bandas establecidas para la tecnología RFID son:

- 125 KHz operando en la banda LF (*Low Frequency*), su velocidad de comunicación es baja lo que lo hace deficiente para operar en entornos donde haya más de una etiqueta presente en el campo de la antena. Su rango máximo de lectura no supera los 50 centímetros y su aplicación más común es en controles de accesos e identificación de animales.

- 13,56 MHz, operando en la banda HF (*high frequency*), la velocidad de comunicación es aceptable para sistemas estáticos o de baja velocidad, su rango máximo de lectura es alrededor de 1 metro (m), sus aplicaciones son en bibliotecas e identificación de contenedores.
- 868 – 928 MHz, opera en la banda de UHF (*ultra high frequency*), sus principales inconvenientes se encuentran en la interferencia provocada por metales y líquidos. Otro punto negativo es la dificultad de estandarizar la frecuencia, dado que cada país legisla esta banda con distintas limitaciones. Entre sus puntos positivos está el rango de lectura que alcanza hasta 9 m. Sus principales aplicaciones se encuentran en la cadena de abastecimientos, peajes e identificación de equipajes.
- 2,4 – 5,8 GHz, trabaja en la banda de UHF, si bien su velocidad de transmisión es buena, su rango de lectura no es mayor a 2 m. Este tipo de sistema no se encuentra muy difundido y su aplicación principal se encuentra en sistemas de peaje.

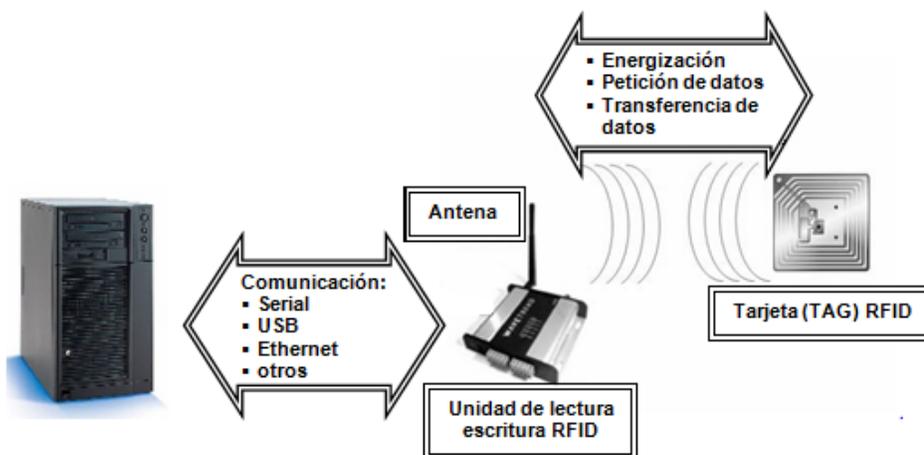
1.2. Componentes de un sistema RFID

Un sistema típico RFID está constituido principalmente por 4 componentes:

- Etiquetas de radiofrecuencia
- Unidad de lectura y escritura
- Antenas
- Computadoras o servidor

La figura 2 muestra los componentes anteriores interactuando para formar un sistema de identificación por radiofrecuencia. La computadora es la encargada de controlar los datos que se transmiten o de interpretar los datos que se reciben de la unidad de lectura y escritura. La unidad de lectura y escritura es comúnmente la encargada de gobernar la antena, la antena forma parte de esta unidad y su función básica es detectar la presencia de una etiqueta de RF y decodificar el número de identificación. La etiqueta RFID es la encargada de almacenar la información que le transmite la unidad de lectura y escritura y de transferir la información requerida, utilizando para ello parte de la radiación electromagnética que recibe en energía para su funcionamiento.

Figura 2. **Componentes de un sistema RFID**



Fuente: elaboración propia.

1.2.1. **Unidad de lectura y escritura RFID**

La unidad de lectura y escritura es utilizada para leer información contenida en la etiqueta de radiofrecuencia y para escribir información dentro de la etiqueta siempre y cuando esta posea la capacidad de ser reescrita.

La unidad de lectura y escritura consta de una antena la cual utiliza para enviar y recibir información digital codificada, a través de ondas de radiofrecuencia con una modulación determinada. Un circuito receptor en la etiqueta es capaz de detectar el campo modulado, decodificando la información y luego enviar una señal más débil a modo de respuesta.

La unidad de lectura y escritura puede configurarse de 2 formas, una es para que opere en forma constante realizando lecturas fijas y acumulando listas de etiquetas en su memoria, cuando la computadora haga la petición a la unidad para que le sea enviada la información, esta le mandará la lista de datos acumulados. La otra manera es operando de forma interactiva con la computadora, realizando la acción que la computadora le indique. Una vez completado el comando instruido la unidad espera hasta recibir otra instrucción.

Las partes que componen la unidad de lectura y escritura son: un microprocesador que controla las actividades de lectura o escritura hacia las etiquetas, codificación y decodificación de la información; un módulo de comunicación con la computadora para el envío de datos, utilizando un protocolo que sea reconocido por la computadora pudiendo ser serial, USB, Ethernet, entre otros; una memoria para almacenar los datos transmitidos de las etiquetas; una antena para la transmisión y recepción de información con la etiquetas RFID.

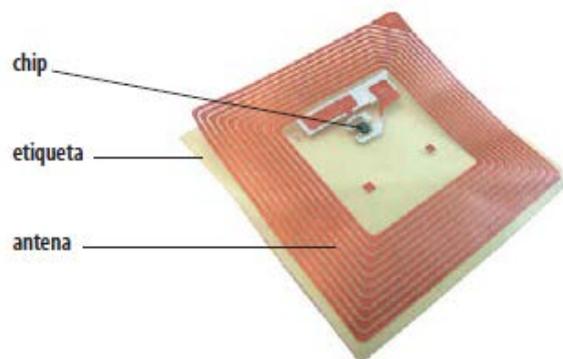
1.2.2. Etiquetas de radiofrecuencia

La etiqueta RFID está compuesta por un microchip y una antena flexible instaladas sobre una superficie plástica. El microchip contiene grabada la información en un código para su transmisión y lectura.

Una manera de clasificar las etiquetas RFID es por su habilidad para almacenar datos. Algunos microchips permiten solo lectura de datos, otros admiten tanto lectura como escritura de información. Una etiqueta de solo lectura está programada de fábrica y la información nunca puede ser cambiada. Por otro lado, una etiqueta de lectura y escritura tiene la capacidad de borrar y cambiar la información guardada, utilizando para ello una unidad especializada RFID.

Otra manera de clasificar las etiquetas de radiofrecuencia es dependiendo del lugar del que provenga la energía que utilizan, las etiquetas RFID pueden ser pasivas, si no tienen fuente de alimentación propia, semipasivas, si utilizan una pequeña batería y activas, si tienen su propia fuente de alimentación.

Figura 3. **Etiquetas RFID**



Fuente: GIDEKEL, Alan. *Introducción a la identificación por radiofrecuencia*. p. 10.

1.2.2.1. **Etiquetas RFID pasivas**

Este tipo de etiquetas no tienen fuente de alimentación propia. La corriente eléctrica necesaria para su funcionamiento se obtiene por inducción en su

antena de la señal de radiofrecuencia procedente de la unidad de lectura y escritura. De esta manera cuando el lector interroga a la etiqueta, genera un campo magnético que produce en la microantena un campo eléctrico suficiente, capaz de generar la energía necesaria para que el microchip integrado en la etiqueta, pueda transmitir una respuesta. Debido a esto, la señal de respuesta tiene un tiempo de vida bastante corto. La distancia de lectura es relativamente reducida, varía entre unos milímetros hasta distancias cercanas a 1 m.

1.2.2.2. Etiquetas RFID semipasivas

Este tipo de etiquetas son muy similares a las pasivas, con la única diferencia que incorporan una pequeña batería. Esta batería permite al microchip en la etiqueta estar constantemente alimentado, y elimina la necesidad de diseñar una antena para recoger potencia de una señal entrante. Estas etiquetas responden más rápidamente, por lo que son más fuertes en el radio de lectura en comparación con las etiquetas pasivas. Además, disponen de un rango de lectura ligeramente superior al de las etiquetas pasivas.

1.2.2.3. Etiquetas RFID activas

Estas etiquetas poseen una fuente de alimentación propia y alcanzan rangos de lectura mucho mayores que las etiquetas pasivas y semipasivas. Este tipo de etiquetas pueden ser leídas a distancias superiores a los 100 m. Su tamaño es mayor que el de los otros dos tipos, aunque puede ser inferior al tamaño de una moneda. Estas etiquetas pueden incorporar también una pequeña memoria adicional que les permite almacenar mayor cantidad de información. La gran limitación que presenta es que su funcionamiento está ligado a su batería, por lo que su tiempo de vida se limita a la vida de la batería.

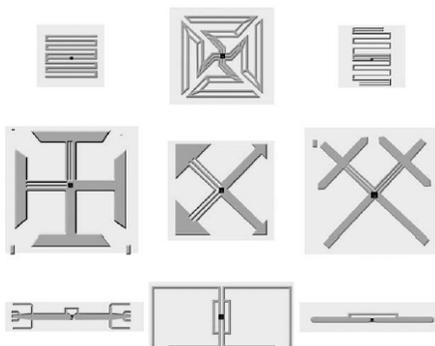
1.2.3. Antenas

El intercambio de datos entre las etiquetas y la unidad de lectura y escritura se realiza por medio de las antenas que generan las ondas electromagnéticas. Existen diferentes diseños de antenas optimizadas para varias aplicaciones y pueden estar fabricadas de aluminio, cobre u otros materiales conductores.

La cantidad de material utilizado en la fabricación de la antena y el tamaño de la misma determina la sensibilidad de una etiqueta. La sensibilidad es crucial para obtener buenos rangos de lectura y minimizar la influencia de los materiales que son aplicados a las etiquetas.

A pesar que los chips son pequeños las antenas no lo son, estas necesitan ser lo suficientemente grandes como para captar la señal emitida por el lector. La antena permite que una etiqueta pueda leerse a una distancia de 3 m o más, incluso a través de distintos materiales. El tamaño de la antena tiende a determinar el tamaño de una etiqueta RFID.

Figura 4. **Diferentes diseños de antenas**



Fuente: GIDEKEL, Alan. *Introducción a la identificación por radiofrecuencia*. p. 10.

1.2.4. Computadora

La computadora se encargará de utilizar la información proveniente de las etiquetas de radiofrecuencia, para procedimientos de control como: registros de productos, animales, personas en una base de datos, sistemas de cobro, así como validaciones de identidad, transacciones, entre otros.

Existen varias tecnologías de comunicación soportadas por una computadora, entre las más comunes y actuales están: la comunicación serial RS-232, red *Ethernet*, red wifi, entre otras. Últimamente se ha adoptado que la computadora y la unidad de lectura y escritura se comuniquen a través del modelo TCP/IP de comunicaciones, sobre una red *Ethernet*, formando una red llamada cliente-servidor.

1.3. Factores críticos de los sistemas RFID

A pesar de la fiabilidad de la tecnología RFID, existen diversos factores que influyen de forma negativa en su funcionamiento. Esta influencia puede ir desde una disminución de las funciones óptimas del sistema RFID hasta incluso su completa inutilización.

La mayoría de estos factores están identificados y sus consecuencias son previsibles de una manera teórica. Sin embargo, no existen fórmula que permita cuantificar los valores exactos de variación de funcionamiento que se producirían ante esos factores, por ello es necesario afrontar una fase inicial de pruebas al momento de implantar cualquier sistema RFID para cada aplicación concreta.

Los principales factores que influyen en el funcionamiento de un sistema RFID, son los siguientes:

- Potencia de transmisión.
- Tamaño de las antenas.
- Patrones de radiación de las antenas.
- Tamaño, tipo y estado de las etiquetas.
- Frecuencia de trabajo.
- Entorno de trabajo.
- Materiales sobre los que se trabaja el sistema RFID (posibles jaulas de Faraday).
- Posición de la etiqueta en el momento de la lectura y escritura de datos.
- Proximidad entre distintos campos de acción de las unidades de lectura y escritura.

1.3.1. Potencia de transmisión

Básicamente, la potencia de transmisión estará relacionada proporcionalmente a la distancia de transmisión que se consiga y al ángulo de lectura de la etiqueta. Normalmente mientras mayor sea la potencia de transmisión mayor será la distancia alcanzada.

1.3.2. Tamaño de las antenas

El tamaño de la antena es un factor decisivo en la distancia de lectura. Cuanto mayor sea la antena, generalmente mayor será la distancia que se podrá alcanzar, aumentando así el campo magnético que se genere. El tamaño de las antenas en las etiquetas será determinante en la distancia. Tratándose de las etiquetas pasivas, la antena podrá inducir una mayor corriente eléctrica

cuando se aumente su tamaño, por lo que tendrá mayor potencia y podrá contestar a mayor distancia.

1.3.3. Tamaño y tipo de etiquetas

El tamaño de la etiqueta influye de una manera crítica en el funcionamiento óptimo de un sistema RFID, normalmente una etiqueta grande tendrá una antena grande, alcanzando una mayor distancia de lectura. En cuanto al tipo de etiqueta, difieren unas de otras por el diseño de su antena.

1.3.4. Frecuencia de trabajo

Este es el factor más determinante en un sistema RFID. La elección de la frecuencia de trabajo a utilizar definirá las características del sistema. El uso de frecuencias bajas limita la distancia de lectura, pero aumenta las características en entornos húmedos. El ángulo de lectura también se ve afectado por la frecuencia, pues dependiendo de la frecuencia de trabajo se utilizará un tipo de antena, con un determinado patrón de radiación.

1.3.5. Entorno de trabajo

Este factor también influye en el comportamiento del sistema. Entornos húmedos, metálicos o con interferencias electromagnéticas influyen de manera negativa en el comportamiento de un sistema RFID.

1.3.6. Materiales sobre los que se trabaja

Los materiales son igualmente determinantes del tipo de sistema RFID a utilizar. Los materiales líquidos y los metálicos influyen de manera negativa en

el funcionamiento del sistema, llegando incluso a hacer inviable la utilización del sistema RFID.

1.3.7. Posición de la etiqueta

Este factor influye tanto en la distancia como en la lectura, debido a las propiedades físicas de las ondas. Por ejemplo, dependiendo de la posición de la etiqueta el campo magnético podrá inducir mayor o menor cantidad de corriente eléctrica en la etiqueta.

1.3.8. Proximidad de las unidades de lectura y escritura

La aproximación entre estas unidades tendrá una clara influencia en el comportamiento de los sistemas RFID, ya que varios lectores podrían interrogar a una misma etiqueta. En estas circunstancias entrarían en funcionamiento protocolos anticolidión que influirían en la velocidad de lectura.

2. MICROCONTROLADOR

En electrónica, el término controlador es usado para describir aquellos dispositivos o conjunto de dispositivos empleados para gobernar uno o varios procesos. Este concepto ha permanecido invariable en el tiempo, pero ha cambiado varios factores como su implementación física y la disminución de su tamaño.

El controlador ha ido evolucionando en su construcción, empleando cada vez componentes más complejos, hasta el empleo de microprocesadores conectados a chips de memoria con periféricos de comunicación. Actualmente, todos los elementos necesarios para fabricar un controlador han podido incluirse dentro de un solo chip, el cual se conoce como microcontrolador.

El microcontrolador se puede definir como un circuito integrado, que incorpora la mayor parte de los elementos que conforman un controlador, en otras palabras se puede decir que los microcontroladores son en realidad microcomputadoras encapsuladas en un solo chip.

Un microcontrolador está construido para incorporar en su interior un procesador CPU, una memoria ROM para las instrucciones del programa, una memoria RAM de datos, periféricos de entrada y salida, módulos para el control de los periféricos y comúnmente un generador de pulsos de reloj.

Los microcontroladores se han desarrollado para cubrir las más diversas aplicaciones. Se usan en automatización, en equipos de comunicaciones y de

telefonía, en instrumentos electrónicos, en equipos médicos e industriales de todo tipo, en electrodomésticos, en juguetes, entre otras.

2.1. Introducción al microcontrolador PIC

El microcontrolador PIC (*peripheral interface controller*), en español se refiere a controlador de interfaz periférico, es un circuito integrado digital que posee la capacidad de ser programable a través de un código, con el cual se hace uso de los recursos que este posee para gobernar un proceso. El microcontrolador posee un gran número de ventajas para ser escogido en la elaboración de proyectos, como: el bajo número de instrucciones de programación, amplia documentación, bajo precio, menor tiempo en el desarrollo de proyectos y muchas herramientas de software y hardware para la programación y prueba.

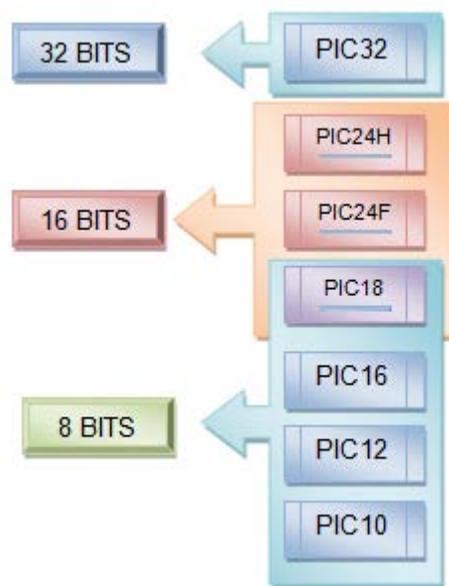
Los microcontroladores están concebidos fundamentalmente para ser utilizados en aplicaciones puntuales, es decir, en aplicaciones donde el microcontrolador debe realizar un pequeño número de tarea, al menor costo posible. En estas aplicaciones, el microcontrolador ejecuta un programa almacenado permanentemente en su memoria, el cual trabaja con algunos datos almacenados temporalmente e interactúa con el exterior a través de las líneas de entrada y salida de las que dispone.

2.1.1. Familias del microcontrolador PIC

La clasificación más importante entre los microcontroladores PIC es la capacidad de los registros del procesador interno, esta capacidad puede ser de 8, 16 o 32 bits. Dentro de cada categoría también se agrupan en grandes familias: PIC10, PIC12, PIC16, PIC18, PIC24 y PIC32.

Los PIC10 son, básicamente, microcontroladores de 6 terminales. La familia de los PIC12 agrupa a los microcontroladores disponibles en encapsulador de 8 terminales. Algunas de estas 5 familias tienen numerosas subfamilias, como el caso de los PIC16. Además, algunas de estas familias incluyen dispositivos de gama baja y media.

Figura 5. **Clasificación y familias de los PIC**



Fuente: elaboración propia.

Dentro de la categoría de 8 bits, que es la más popular, la empresa Microchip ha dividido sus microcontroladores en 3 grandes gamas, tomando como parámetro de clasificación el tamaño de las instrucciones programación, capacidad de la memoria, entre otras. Esta clasificación es:

- Gama baja, en ella se encuentran los microcontroladores que disponen de un repertorio de 33 instrucciones de 12 bits cada una. La memoria de

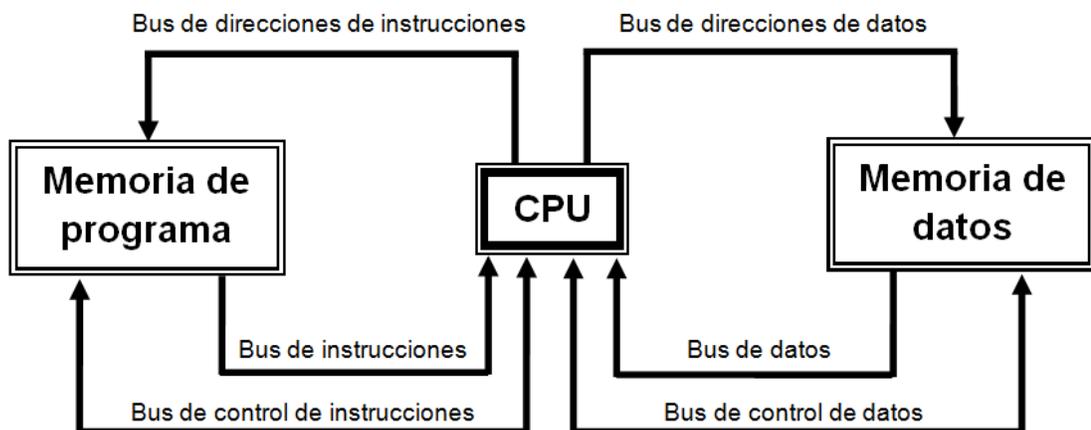
programa tiene una capacidad de hasta 2 K (2 048) palabras de 12 bits y está organizada en páginas de 512 palabras cada una. La memoria de datos está formada por registros de 8 bits y se organiza en bancos de hasta 32 registros cada uno. Dentro de esta se encuentran los PIC10, PIC12X5xx y PIC16X5xx.

- Gama media, en ella se encuentran los dispositivos que tienen un repertorio de 35 instrucciones de 14 bits cada una. La memoria de programa puede llegar a las 8 K (8 192) palabras de 14 bits y se organiza en páginas de 2 K (2 048) palabras cada una. La memoria de datos está formada por registros de 8 bits y está organizada en bancos de 120 registros cada uno, con un máximo de 4 bancos. En general, los PIC de gama media poseen algo de memoria EEPROM de datos. Todos tienen una pila de 8 niveles, donde se almacenan direcciones de la memoria de programa. Dentro de esta gama se encuentran los PIC16, excepto los PIC16X5xx que son de gama baja y los PIC12X6xx, con encapsulado de 8 terminales.
- Gama alta, en ella están los microcontroladores que se distinguen por sus instrucciones de 16 bits, mayor profundidad en la pila y un sistema de interrupciones más elaborado que incluye, además de las interrupciones internas de los dispositivos integrados en el microcontrolador, varias entradas para interrupciones externas. Poseen una mayor capacidad de memoria que cualquier otra gama, tienen un juego de 60 o más instrucciones. Dentro de esta gama se encuentran los PIC17, PIC18.

2.2. Arquitectura

Los microcontroladores PIC son diseñados de acuerdo a la arquitectura Harvard. La arquitectura Harvard utiliza memorias separadas para instrucciones y datos. En este caso la memoria de programa (que almacena instrucciones) tiene su bus de direcciones (de instrucciones), su propio bus de datos y su bus de control. Por otra parte, la memoria de datos tiene sus propios buses de direcciones, datos y control, independientes de los buses de la memoria de programa. La memoria de programa es solo de lectura, mientras que en la de datos se puede leer y escribir. Es posible realizar operaciones de lectura o escritura, simultáneamente en ambas memorias.

Figura 6. Estructura de la arquitectura Harvard



Fuente: PALLAS Ramón; PÉREZ Fernando. *Microcontroladores, fundamentos y aplicaciones*.

p. 23.

La estructura interna del PIC está orientada a esquema de bancos de registros. Es decir que todos los objetos dentro del microcontrolador como los puertos de entrada y salida, comparadores, unidades de conversión

analógico/digital, temporizadores, los sectores de memoria y otros están implementados físicamente como registros.

A cada registro dentro del microcontrolador se le asigna una dirección dentro del mapa de los bancos de registros. Es más, a los registros con funciones especiales se les otorga un nombre específico con el que se identifica su función. La cantidad de bancos de registros depende de las características y funciones que incluya de fábrica el modelo de PIC que se adquiera.

Al final, con entender que toda unidad dentro del microcontrolador es catalogada como un registro, se facilita el acceso de lectura o escritura a cada unidad y sector de memoria, además se logra una mejor configuración de la forma de operar del PIC al manipular directamente los bits de cada registro.

2.3. Procesador CPU

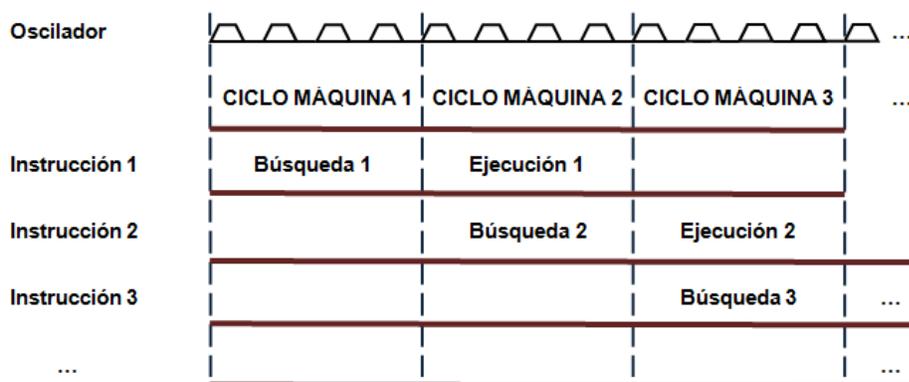
El procesador es la parte primordial de todo microcontrolador y determina sus principales características, tanto a nivel de hardware como de software. Esta unidad trae las instrucciones del programa, una a una, desde la memoria donde están almacenadas, las interpreta (decodifica) y hace que se ejecuten. En la CPU se incluyen los circuitos de la ALU para realizar operaciones aritméticas y lógicas elementales con los datos binarios.

El procesador de un microcontrolador PIC se destaca por ser diseñado, bajo la arquitectura RISC (*Reduced Instruction Set Computer*), en la cual la CPU dispone de un repertorio corto de instrucciones sencillas. Cada instrucción puede realizar una operación muy simple, como mover un dato entre la CPU y la memoria, pero a alta velocidad. Se puede lograr que todas las instrucciones tengan la misma longitud. Hay pocos modos de direccionamiento de los datos y

son aplicables a todas las celdas de la memoria de datos. La complejidad de la CPU disminuye, de modo que es fácil aumentar la frecuencia del oscilar de la CPU y con ello la velocidad de las instrucciones. Como tienen menos transistores, son más baratas de diseñar y producir.

Un aspecto importante del procesador de un PIC es el desempeño en la ejecución de cada instrucción. El procesador utiliza la técnica de segmentación en la ejecución de las instrucciones. La segmentación permite al procesador realizar al mismo tiempo la ejecución de una instrucción y la búsqueda del código de la siguiente instrucción. De esta forma se puede ejecutar cada instrucción en un ciclo de máquina. Un ciclo de máquina se define como 4 pulsos del oscilador principal. La ejecución de una instrucción cualquiera se realiza en 3 fases: búsqueda, decodificación y ejecución. En la fase de búsqueda, el microcontrolador lee la instrucción que está en la memoria de programa y la lleva a la CPU. En la fase de decodificación, la CPU determina cual es la operación indicada en la instrucción. En la fase de ejecución, se ejecuta la operación prevista por la instrucción.

Figura 7. **Proceso de segmentación de instrucciones**



Fuente: elaboración propia.

2.4. Configuración del oscilador

Los microcontroladores PIC disponen de un circuito oscilador que genera una onda cuadrada de alta frecuencia, que configura los pulsos de reloj usados en la sincronización de todas las operaciones del sistema. Generalmente, el circuito de reloj está incorporado en el microcontrolador y solo se necesita unos pocos componentes exteriores para seleccionar y estabilizar la frecuencia de trabajo. Entre las opciones que se disponen para el oscilador principal están: el oscilador de cristal (cuarzo), el oscilador RC y el oscilador externo. Al aumentar la frecuencia del oscilador principal, se acorta la duración de los ciclos de máquina y con ello, el tiempo de ejecución de las instrucciones, pero aumenta el consumo de energía.

El tipo de oscilador a utilizar se selecciona mediante los bits de configuración del PIC. En estos bits especifican varias configuraciones de osciladores (LP, XT, HS) de cristal de cuarzo o resonador cerámico. La opción LP se selecciona en aplicaciones de muy baja potencia, en el rango de frecuencias de 32 a 200 KHz, la opción XT se ajusta a las aplicaciones a frecuencias medias, de 100 KHz a 4 MHz y la opción HS es apropiada en aplicaciones de alta frecuencia, entre 8 y 20 MHz.

2.5. Memoria

La memoria de un microcontrolador es el lugar donde se almacena el programa que se ejecuta y los datos o variables utilizados por el programa. La memoria es un conjunto de celdas o localidades que se identifican por su dirección.

La memoria de los microcontroladores se organiza normalmente como un todo único (organización lineal) o por bloques llamados páginas. En la organización lineal, las direcciones de las celdas son números binarios consecutivos. En este caso, cada celda se identifica por su dirección lineal, formada por un número binario único.

Una página es una porción de memoria de tamaño fijo. Las páginas están una a continuación de la otra sin traslaparse. Cada página se puede identificar por un número denominado número de página.

2.5.1. Memoria de programa

Es la memoria utilizada para almacenar las instrucciones del programa a ejecutar en un microcontrolador. Esta sección de memoria consta de memorias tipo *flash*, que se trata de una memoria no volátil, de bajo consumo, que se puede escribir y borrar. Funciona como una memoria ROM (memoria no volátil), y una RAM (memoria volátil) pero consume menos energía y es más pequeña.

A diferencia de la ROM, la memoria *flash* es programable en el circuito. Las memorias *flash* son muy útiles al permitir que los microcontroladores que las incorporan puedan ser reprogramados en el circuito, es decir, sin tener que sacar el chip de la tarjeta de trabajo.

2.5.2. Memoria RAM

La memoria RAM es una memoria de lectura y escritura. Hay dos variantes: la estática y la dinámica. En la memoria RAM estática la información almacenada permanece estable indefinidamente mientras no se suprima la fuente de alimentación. Eso las diferencia de las memorias RAM dinámicas, que

requieren un refrescamiento periódico de la información almacenada. Las RAM dinámicas se usan en las computadoras personales, pero no en los microcontroladores.

2.5.3. Memoria EEPROM

La memoria EEPROM (*electrical erasable programmable real only memory*) es una memoria no volátil de lectura y escritura, la escritura de la memoria se realiza por medios eléctricos. Las celdas pueden ser escritas individualmente sin una operación previa de borrado. La memoria se puede reprogramar un número limitado, aunque muy grande, de veces (del orden de 10^6). Es muy cómoda y rápida la operación de grabado y la de borrado.

La memoria EEPROM en un microcontrolador PIC está separada de la memoria de programa y de la memoria RAM. La cantidad de esta memoria es limitada y cada dirección permite el almacenamiento de un *byte*.

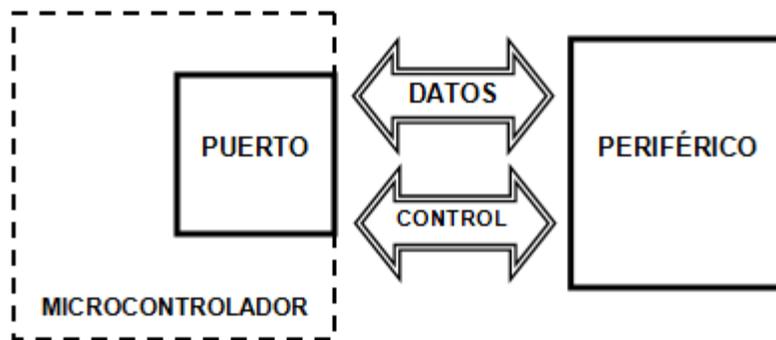
2.6. Puertos digitales de E/S

La principal utilidad de los pines que posee un microcontrolador es soportar las líneas de entrada y salida, que comunican al procesador interno con los periféricos exteriores. Las líneas de E/S se destinan a proporcionar el soporte a las señales de entrada, salida y control de datos.

Un puerto es un circuito que forma parte del microcontrolador y sirve de interfaz con algún dispositivo externo (un periférico). Comúnmente un microcontrolador puede contener hasta 5 puertos digitales disponibles con una longitud de un *byte*, es decir 8 líneas de transporte de datos que representan los 8 bits. Desde el punto de vista de su programación, los puertos se identifican

por sus direcciones, ubicadas por lo general en la memoria de datos. Para hacer referencia a los datos que entran o salen por un puerto, se necesita al menos una dirección.

Figura 8. **Conexión entre un microcontrolador y un periférico**



Fuente: PALLAS, Ramón; PÉREZ, Fernando. *Microcontroladores, fundamentos y aplicaciones*. p. 150.

Cada puerto utiliza 3 registros para su configuración y operación. El registro TRIS para configurar la dirección de las líneas, indicando si son entradas o salidas. El registro PORT para leer los estados de las líneas de entrada durante la ejecución del programa. El registro LAT que permite la escritura de señales en las líneas de salida.

Algunos pines de los puertos cumplen con más de una función y deben ser configurados en el código del programa, para su operación en uno u otro modo.

2.6.1. Puertos de comunicación

Estos puertos permiten al microcontrolador la posibilidad de comunicarse con: otros dispositivos externos, otros buses de microcontroladores, buses de sistemas, buses de redes y con otros elementos bajo otras normas y protocolos para el control, ejecución de acciones e intercambio de información.

Algunos modelos disponen de recursos que permiten directamente establecer la comunicación bajo un protocolo determinado. Entre estos recursos se destacan el adaptador de comunicación serie asíncrona UART, el puerto paralelo esclavo para conectarse con los buses de otros microcontroladores, el módulo de bus serie universal USB para conexión con computadores, la interfaz serie de dos hilos en modalidad I²C y en comunicación SPI, entre otros.

2.6.2. Comunicación en serie

La comunicación en serie de información consiste en enviar, uno a uno los bits de una palabra de forma sucesiva, a través de los mismos terminales. La señal de datos se genera en sincronismo con una señal de reloj, cuyo período determina la duración de un bit de la señal de datos.

Entre el transmisor y el receptor debe haber alguna forma de sincronización, para que la información transmitida pueda ser interpretada correctamente por el receptor. En aplicaciones en las que los datos se transmiten a cortas distancias, la señal de reloj puede acompañar a los datos, lo cual facilita dicha sincronización. Cuando la señal de reloj es transmitida se dice que la comunicación es sincrónica. Cuando las distancias son grandes, por lo general no resulta práctico transmitir la señal de reloj, por el costo adicional de los medios de transmisión. Pero aunque el reloj no esté disponible, la

sincronización debe permitir al receptor conocer la duración de cada bit y el momento en que comienza cada palabra transmitida. Este tipo de comunicación es llamada comunicación asincrónica y comunicación sincrónica.

2.6.2.1. Comunicación asincrónica

La comunicación asincrónica se caracteriza por introducir el elemento de sincronización en cada dato transmitido, que consiste en un bit con valor de 0 para indicar el comienzo de cada palabra y otro bit con valor 1 para indicar el final de las palabras. El 0 inicial se denomina bit, pulso de inicio o espacio, el 1 final se denomina bit, pulso de parada o marca. Cuando el transmisor hace una pausa porque no tiene palabras para transmitir, mantiene en su terminal de salida una secuencia de bits de parada, por lo cual la salida permanece en 1 mientras dura la pausa.

2.6.2.2. Comunicación sincrónica

La comunicación sincrónica sin transmisión del reloj se caracteriza por la sincronización de datos por bloques de palabras. A diferencia de la comunicación asincrónica, las palabras no son sincronizadas individualmente, sino que para iniciar la transmisión de un bloque de datos, el transmisor introduce un elemento de sincronización, que puede ser una palabra o un patrón único de bits, según el sistema utilizado. Cuando el transmisor termina de enviar un bloque de datos y no hay más datos para enviar, se produce una pausa en la que el transmisor debe mantener la línea en un estado determinado.

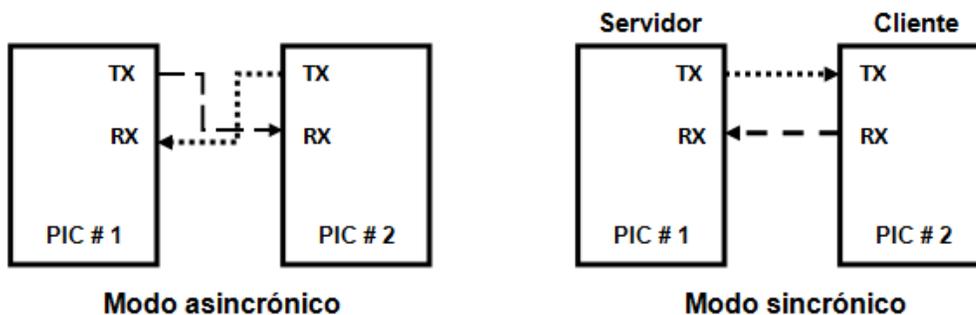
2.6.3. El puerto serie USART en los microcontroladores

Los microcontroladores PIC poseen un puerto para la comunicación serie denominado USART (*universal synchronous asynchronous receiver transmitter*), que puede ser configurado para establecer una comunicación asincrónica bidireccional simultánea o síncrona bidireccional no simultánea.

El puerto serie USART utiliza los dos terminales TX y RX del microcontrolador, que generalmente comparte funciones con 2 terminales del puerto paralelo C. En modo asincrónico TX es el terminal del transmisor por donde salen los datos y RX es el terminal del receptor por donde entran los datos.

En modo síncrono, TX es el terminal de salida de reloj si el dispositivo ha sido configurado como servidor, o el terminal de entrada de reloj si el dispositivo ha sido configurado como cliente. El terminal RX es bidireccional y por el entran o salen los datos.

Figura 9. **Modos de conexión serie del microcontrolador**



Fuente: elaboración propia.

2.7. Interrupciones

Uno de los propósitos del microcontrolador consiste en reaccionar ante los cambios o eventos que ocurren en su entorno, interrumpiendo y suspendiendo su operación normal y dedicándose a realizar una acción específica. Una vez el microcontrolador ha terminado de atender dicho evento, retoma su operación normal en el punto exacto donde se interrumpió. La señal que informa al procesador central acerca de dicho acontecimiento se denomina interrupción.

En un microcontrolador hay varias fuentes de interrupción, unas internas y otras externas. Las interrupciones internas tienen su origen en los módulos de entrada y salida del microcontrolador, la memoria o la CPU. Las interrupciones menos comunes son las interrupciones causadas por algún evento que tenga lugar en la memoria o en la propia CPU. Las interrupciones externas se originan en un periférico y llegan al microcontrolador por alguno de sus terminales.

Una interrupción externa se detecta por el cambio del nivel de tensión en los pines INT del microcontrolador. Este cambio de tensión se denomina flanco y puede ser de subida, cuando la tensión cambia de un estado lógico 0 a un estado lógico 1, o de bajada, cuando la tensión cambia de un estado lógico 1 a un estado lógico 0. Los pines INT utilizados para detectar interrupciones externas se encuentran comúnmente en el puerto B de un PIC, y deben ser habilitados y configurados como entradas para cumplir correctamente la función de interrupción.

Los microcontroladores disponen además de un bit para el control global del sistema de interrupción. Con este bit se permite o impide el paso de cualquier interrupción hacia la CPU, lo cual equivale a habilitar o inhabilitar globalmente el sistema de interrupción. Para que una solicitud de interrupción

llegue a la CPU y sea atendida, tanto el sistema en su conjunto como la interrupción deben estar habilitados.

Los bits de control utilizados para permitir o no el paso de las solicitudes de interrupción hacia la CPU se denominan máscara, de ahí que las interrupciones que se pueden habilitar o inhabilitar por programa se llamen interrupciones enmascarables y las interrupciones que no se pueden inhabilitar por programa se denominan interrupciones no enmascarables. La acción que realiza el microcontrolador al detectar una interrupción se le llama rutina de servicio de interrupción, la cual consta de un conjunto de instrucciones que el microcontrolador debe ejecutar

2.8. Microcontrolador PIC16F887

Los microcontroladores de la familia PIC16 dispone de características convenientes de comunicación, para control de máquinas, para medir variables de procesos, ofreciendo una característica importante que es su bajo costo y su alta calidad.

Este microcontrolador posee una serie de recursos internos fundamentales y necesarios para lograr la comunicación y el completo control con módulos externos adicionales, en este caso es la unidad de lectura escritura que se utilizará, estos recursos son:

- Posibilidad de utilizar un oscilador externo del rango de 8 a 31 MHz útiles para sincronización y detección de señales de alta frecuencia.
- Poco consumo de energía de 220 uA trabajando a 4 MHz, o 50 nA en modo de espera.

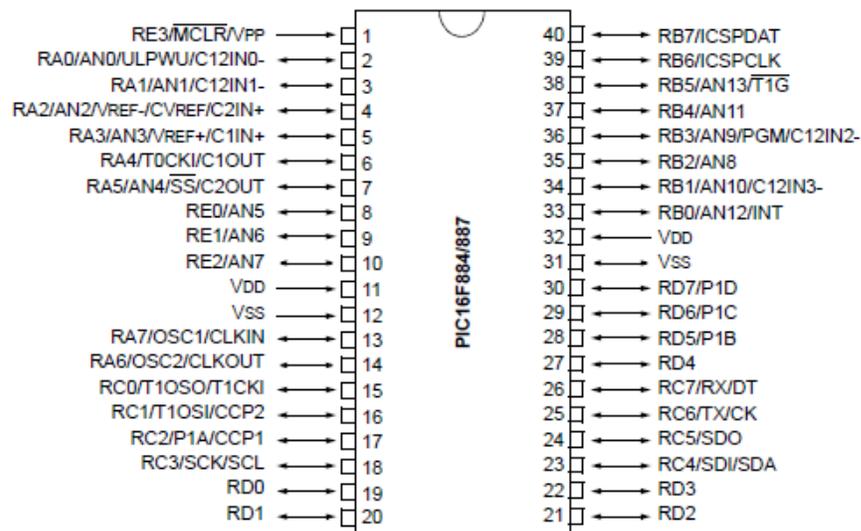
- Posee un módulo USART mejorado que puede soportar comunicaciones seriales RS-485, RS-232, con auto detección de baudios.
- 35 pines digitales de entrada y salida.

2.8.1. Descripción del patillaje

El microcontrolador PIC16F887 posee en total una distribución de 40 pines divididos en 3 puertos digitales de 8 pines cada uno, un puerto digital de 6 pines, otro puerto digital de 3 pines, 4 pines de alimentación de voltaje, 2 pines para el oscilador externo y un pin de reinicio.

Figura 10. Diagrama de pines del PIC16F887

40-pin PDIP



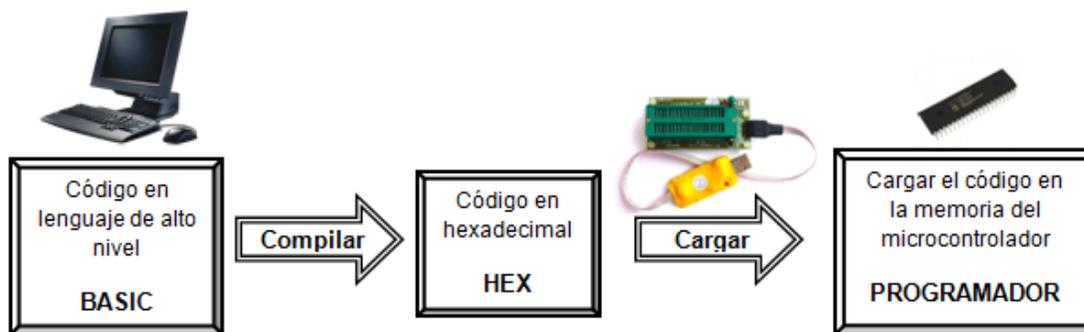
Fuente: Microchip. *PIC16F887 Data Sheet*. p. 6.

2.9. Programación del microcontrolador

El proceso de programación básico se puede dividir en 3 simples pasos que son:

- Elaboración del programa, por medio de las sentencias e instrucciones del lenguaje de programación a utilizar.
- Compilación del programa elaborado para la búsqueda de errores entre las sentencias del código y para el paso del programa a código binario.
- Carga del código binario elaborado al compilar el programa realizado al microcontrolador.

Figura 11. Proceso de programación de un microcontrolador



Fuente: elaboración propia.

2.9.1. Escritura del código

El microcontrolador ejecuta las instrucciones contenidas en el programa elaborado, estas instrucciones son cargadas en la memoria *flash* del microcontrolador y se denomina código ejecutable, el cual está compuesto de

ceros y unos que le indican al microcontrolador las operaciones que debe realizar.

Dependiendo de la arquitectura del microcontrolador, el código binario puede estar compuesto por palabras de 12, 14 o 16 bits de anchura. Cada palabra es interpretada por el procesador como una instrucción a ser ejecutada.

Es más práctico trabajar con el sistema de numeración hexadecimal, por lo que el código ejecutable se representa con frecuencia como una serie de números hexadecimales denominados código hexadecimal (HEX). La escritura de un código ejecutable en hexadecimal es muy complicada y tediosa, además que requiere de tiempo y de conocimiento detallado del microcontrolador.

Para facilitar la escritura del código de un programa se desarrolló el lenguaje ensamblador (ASM). En el cual las instrucciones son representadas por símbolos que tienen un significado o una traducción en lenguaje hexadecimal. La principal ventaja del lenguaje ensamblador es su simplicidad y el hecho de que a cada instrucción corresponde una localidad de memoria. Además permite el control detallado de todos los procesos.

En la búsqueda y desarrollo de un lenguaje de programación que tuviera mayor similitud al lenguaje utilizado en el habla cotidiana, fueron creados los lenguajes de programación de alto nivel, y entre ellos el lenguaje *Basic*. La ventaja principal de estos lenguajes es la simplicidad de escribir un programa.

El proceso de compilado es muy similar al utilizado por el lenguaje ensamblador, por medio de un programa instalado en la computadora, se traducen las instrucciones de *Basic* a código máquina. La única desventaja es que el programa traducido, siempre es más complejo y largo que el creado en

ensamblador, por lo que la optimización y el control total de los recursos del microcontrolador no se tienen por completo.

El lenguaje *Basic* es un lenguaje de programación basado en pocos elementos, con el fin de hacerlo más fácil de entender. Los elementos básicos del lenguaje son los siguientes:

- **Identificadores:** nombres arbitrarios asignados a los objetos básicos del lenguaje tales como: constantes, variables, funciones, procedimientos, entre otros.
- **Comentarios:** anotaciones utilizadas para interpretar el programa. Son empleados por los programadores del código y comúnmente solo ocupan una línea, además debe colocarse el apóstrofe para escribir un comentario.
- **Operadores:** símbolos que indican las operaciones que se realizan sobre los operandos en una expresión.
- **Instrucciones:** comandos utilizados para especificar la operación a realizar dentro del código del programa.
- **Constantes:** objetos cuyos valores se han definido en el momento de escribir el código de programa, y no pueden ser modificados durante la ejecución del programa.
- **Variables:** objetos cuyo valor se puede modificar en tiempo de ejecución y se declaran bajo un nombre único.

- Símbolos: identificador con un nombre específico por el programador, que puede representar una constante, un registro, una instrucción o función, entre otros.
- Etiquetas: utilizadas para denotar líneas particulares en el programa donde se debe ejecutar la instrucción de salto y la subrutina apropiada.
- Procedimientos y funciones: denominados bajo el nombre común de rutinas, son subprogramas que ejecutan ciertas tareas con base en un número de los parámetros de entrada. Las funciones devuelven un valor después de la ejecución, mientras que los procedimientos no devuelven un valor.

2.9.2. *PIC Simulator IDE*

PIC Simulator IDE es un software desarrollado por la empresa Oshon Software, el cual consta de una amplia variedad de herramientas que permiten una programación y compilación efectiva, facilitando la simulación de programas. Entre las capacidades que tiene este software se pueden mencionar:

- Utilización de herramientas para facilitar la simulación de proyectos al usuario.
- Monitorear la estructura del programa, variables y funciones utilizando un explorador de código.
- Generación de un archivo ensamblador (ASM) y un archivo hexadecimal (HEX) útiles para la carga del código al microcontrolador.

- Amplia variedad de modelos de microcontroladores PIC.

El proceso de crear y ejecutar un proyecto contiene los siguientes pasos:

- Al iniciar el software se debe configurar el tipo de microcontrolador y la frecuencia de reloj con la que se desea trabajar.
- Se debe abrir el compilador de *Basic*.
- Editar un programa.
- Guardar el programa creado en una localización específica.
- Depurar el código para verificar que todas las instrucciones funcionen de forma correcta.
- Compilar el programa y corrección de errores.
- Al momento de compilar el programa se tiene la opción de ejecutar la simulación del código facilitando para ello herramientas de simulación, específicas para cada proyecto como módulos LCD, teclados matriciales, manejo de motores, entre otros.
- Programar un microcontrolador (cargar el archivo HEX generado por el compilador en el microcontrolador utilizando el programador deseado).

2.9.3. Carga del código al PIC

El programador *mini QL2206* es una herramienta diseñada para programar todos los tipos de microcontrolador PIC. Está compuesto por dos partes:

- La parte hardware se utiliza para poner en el búfer el código hexadecimal y para programar el microcontrolador por medio de niveles de voltaje específicos. Durante el proceso de la programación, un nuevo programa se escribe en la memoria *flash* del microcontrolador, mientras que el programa anterior es borrado.
- *QL_PROGen* es el software que se encarga de enviar el programa (archivo HEX) a la parte hardware del programador, por medio de un cable USB. Antes de enviar el código, es posible modificar algunas configuraciones del programador y controlar el funcionamiento de la parte hardware como cargar un archivo, escribir el código en la memoria del PIC, limpiar la memoria, entre otras.

3. MÓDULOS PERIFÉRICOS ADICIONALES

Los módulos periféricos son circuitos electrónicos adicionales, independientes que son diseñados para realizar una función específica y con ello complementar de mejor forma una tarea específica, estos módulos se conectan a las líneas de entrada y salida del microcontrolador PIC para mantener una constante comunicación y control de la información transmitida.

El microcontrolador gobierna la operación de la unidad de lectura y escritura. La información de una etiqueta de radiofrecuencia está contenida en una RFID *card* y se adquiere a través del módulo RFID. La información es leída e interpretada por el microcontrolador y luego se sobre escribe un nuevo resultado en la tarjeta, dependiendo del costo del servicio de transporte.

3.1. Módulo RFID-UART *Reader/Writer*

El módulo empleado para lectura y escritura de tarjetas RFID es fabricado por la empresa Elechouse, este módulo es capaz de leer y escribir en tarjetas pasivas RFID, por medio de ondas de radio a una frecuencia de 13,56 MHz. El módulo básicamente consta de 2 circuitos integrados de montaje superficial y alta escala de integración: el MFRC522 y el procesador STC12C5A16 que permite su conexión al puerto serie asíncrono de cualquier microcontrolador en forma simple, rápida y en niveles TTL.

El módulo se alimenta con 5 V, consumiendo una corriente de 30 mA. El conector UART consta de 4 pines con las señales TX, RX, 5 V y GND. Su

principal cualidad es permitir el control de las funciones RFID por medio de comandos UART simples.

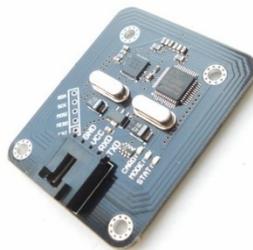
El circuito integrado transmisor/receptor es el dispositivo MFRC522, que controla las señales, moduladas en amplitud de 13,56 MHz que son enviadas a la antena en la transmisión, o que son recibidas de la antena, realizando la operación de lectura o escritura en la tarjeta.

La antena emite un campo electromagnético para activar la tarjeta de radiofrecuencia e iniciar la lectura o escritura. Dicho campo no excede los 5 cm en la dirección principal de radiación.

El módulo RFID cumple con 3 funciones principales que son:

- Energizar la etiqueta de radiofrecuencia para que trabaje y pueda emitir una respuesta.
- Modular la señal de radio enviada y demodular la señal de radio recibida.
- Codificar y decodificar la información de la etiqueta de radiofrecuencia.

Figura 12. **Módulo RFID-UART *Reader/Writer***



Fuente: *Módulo RFID-UART. Reader/Writer*. www.elechouse.com/elechouse/images/product/13.56MHZ_RFID_Module/5.jpg. Consulta: 27 de octubre de 2014.

3.1.1. Componentes del módulo RFID-UART *Reader/Writer*

Los componentes principales que contiene este módulo son:

- Un circuito integrado transceptor MFRC522
- Un procesador STC12C5A16
- Una antena
- Pines para la conexión de la comunicación UART
- Elementos activos como diodos y transistores
- Elementos pasivos como resistencias, capacitores y resonadores

Figura 13. Componentes del módulo RFID-UART



Fuente: *Módulo RFID-UART, de 5 volts y 13.56 MHz.* www.puntofotante.net/RFID-UART-SINGLE-READY-SMART-SPANISH.jpg. Consulta: 27 de octubre de 2014.

El circuito integrador transceptor se encarga de generar las señales que alimentan a la antena, para crear el campo electromagnético. También es el

encargado de transmitir las señales de información y reloj de sincronización al microcontrolador PIC.

3.1.2. Circuito integrado MFRC522

Este circuito es llamado transceptor porque cumple la función de trasmisor y receptor de señales para estaciones de radiofrecuencia. Sus funciones principales son:

- Control de señales en la antena.
- Modulación y demodulación en amplitud del campo electromagnético para leer o escribir en los chips de las etiquetas de radiofrecuencia.
- Interfaz UART soportada para la comunicación de los datos al microcontrolador.

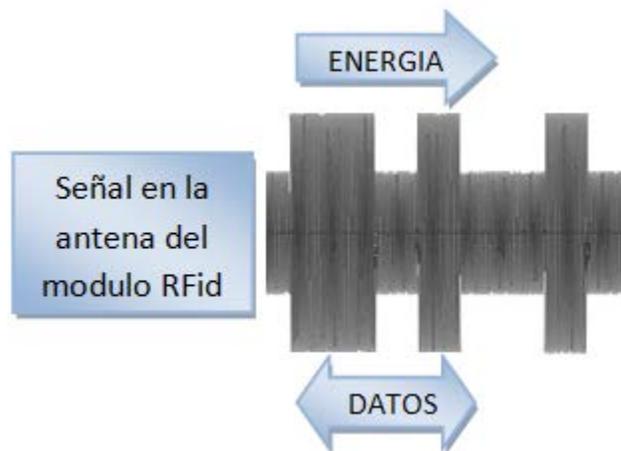
Las características principales del transceptor MFRC522 son:

- Circuitos analógicos altamente integrados para demodular y codificar respuestas.
- Distancia de operación típica en modo de lectura y escritura de hasta 5 cm.
- Una memoria para administrar envío y recepción de datos de 64 *bytes*
- Suministro eléctrico de 2,5 a 3,3 V.

3.1.3. Flujo de señales en la operación de lectura y escritura

La señal recibida y transmitida en la antena por medio de ondas electromagnéticas es modulada en amplitud con datos digitales. El transceptor detecta las variaciones de amplitud de la señal portadora, con frecuencia de 13,56 MHz, para extraer los datos digitales del código.

Figura 14. Ejemplo de señal electromagnética del módulo RFID



Fuente: elaboración propia.

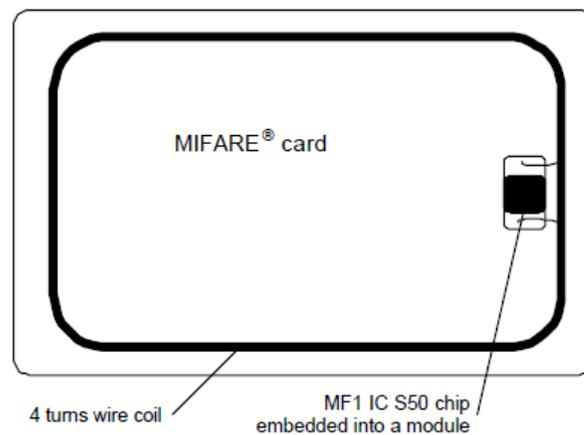
3.2. Tarjetas RFID MIFARE

La tecnología de estas tarjetas o tags MIFARE fue desarrollada por la empresa *NXP Semiconductors*. Las tarjetas RFID Mifare utilizan etiquetas pasivas, es decir que no poseen una fuente de alimentación propia. Este tipo de tarjetas debe utilizar la frecuencia de 13,56 MHz para que sean compatibles con el módulo RFID.

Para lograr comunicación con la tarjeta, la antena del módulo debe emitir un campo electromagnético que energice el circuito de la etiqueta, para ello la tarjeta debe colocarse en el espacio físico dentro de dicho campo, que tiene un rango aproximado de 5 centímetros desde el módulo RFID.

La figura 15 muestra la imagen de una tarjeta de radiofrecuencia, estas tarjetas son fabricadas en material plástico, y en el interior se encuentra un circuito integrado y una antena.

Figura 15. **Tarjetas RFID de 13,56 MHz**



Fuente: MIFARE. *Mifare Card Classic S50: Data Sheet*. p. 5.

3.2.1. Componentes

Las tarjetas RFID contiene básicamente 2 componentes electrónicos, un microcontrolador especializado conocido como chip MF1 IC y una antena para la transmisión-recepción de información, a una frecuencia de 13,56 MHz que es el estándar de enlace por radio empleado en los sistemas RFID.

El microcontrolador o chip contiene una memoria de lectura de tipo EEPROM, que es donde se almacena la información de la etiqueta. Todas las etiquetas tienen un número de serie, conocido como NUID (*Non Unique Identification Number*) de 4 bytes que es pregrabado de fábrica, aunque algunas etiquetas más recientes cuentan con un número de serie de 7 bytes, denominado UID (*Unique Identification Number*).

3.2.2. Características del chip MF1 IC

El circuito integrado MF1 IC consta de las siguientes características:

- Posee una memoria EEPROM que pueden ir de 1 a 4 KB.
- Posee una unidad de control y una unidad aritmética lógica (ALU).
- Posee una interfaz RF, para modular, demodular, rectificar, generador de reloj y regulador de voltaje.
- Rectificador de onda completa para extraer el voltaje de alimentación.

La etiqueta es energizada por un voltaje inducido en la antena desde un campo electromagnético proveniente del módulo RFID. El voltaje de corriente alterna, inducido es rectificado para proveer alimentación de voltaje de corriente directa.

La etiqueta utiliza un resonador para extraer la frecuencia del campo electromagnético externo, para generar propiamente una señal de reloj. La señal de respuestas emitida es modulada con la misma frecuencia extraída.

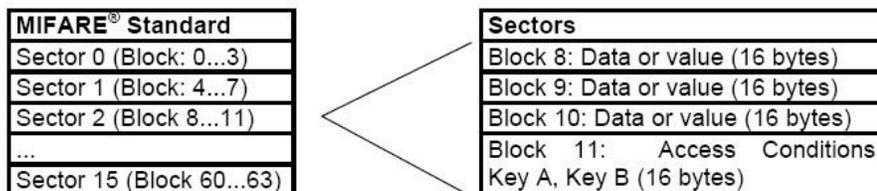
La comunicación entre la etiqueta y el módulo es manejada por radioenlace, a una frecuencia de 13,56 MHz. La velocidad de transmisión de

datos entre la etiqueta y el módulo RFID alcanza aproximadamente 100 Kbits/seg.

3.2.3. Organización de la memoria EEPROM

La memoria EEPROM del tag MIFARE de 1 KB, tiene una capacidad total de 1 024 *bytes*, sin embargo, por las localidades empleadas para códigos de seguridad el número de localidades útiles para los usuarios es 768 *bytes* para almacenamiento. La memoria EEPROM de 1 KB está organizada en 16 sectores de 4 bloques cada uno, para un total de 64 bloques. Cada bloque a su vez está constituido por 16 *bytes*.

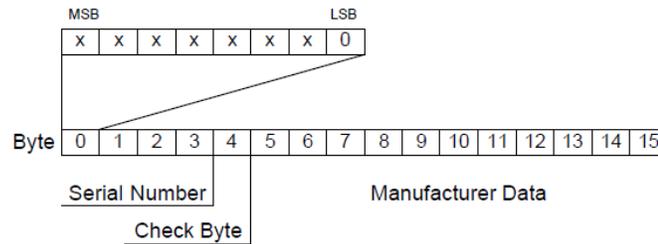
Figura 16. Organización de memoria de las etiquetas MIFARE de 1 KB



Fuente: MIFARE. *Mifare Card Classic S50: Data Sheet*. p. 9.

En el sector 0, bloque 0, los primeros 4 *bytes* almacenan el número de serie de la etiqueta (NUID) y los datos del fabricante. Este bloque está protegido y solamente puede leerse. El *byte* 4 se conoce como *BCC (block check character)* y es un valor de verificación del número de serie. Calculado con la operación lógica OR exclusiva de los 4 *bytes* anteriores.

Figura 17. Estructura del sector 0, bloque 0



Fuente: MIFARE. *Mifare Card Classic S50: Data Sheet*. p. 10.

3.2.3.1. Sector Trailer

Cada sector cuenta con 4 bloques. El cuarto bloque se conoce como *sector trailer* y tiene como función la configuración de permisos y códigos de acceso para la lectura y escritura de los datos de ese sector. En este bloque se incluye el almacenamiento de 2 códigos de seguridad llamados *Key A* y *Key B*, así como de 4 *bytes* (*access Bits*) para la configuración del manejo que se dará a los datos contenidos en dicho sector, la clave *Key A* puede escribirse, pero no leerse.

La clave *Key B* es opcional y puede utilizarse o no, esto dependerá del programador del sistema. Solamente podrán leerse o modificarse los datos de algún sector si se conoce la clave *Key A* y/o *Key B*. ambas claves establecen un mecanismo de seguridad para la protección e integración de los datos en cada sector.

Cuando se adquiere una tarjeta MIFARE nueva las claves *Key A* y *Key B* vienen por defecto con valores de 0xFFFFFFFFFFFF y los *Access Bits* tiene los valores de 0xFF, 0x07, 0x80, 0x69. Esta configuración inicial de las tarjetas

MIFARE se conoce como configuración de transporte, si no se modifica, esta configuración inicial permite lectura y escritura de información en toda la zona disponible para almacenamiento de datos en la EEPROM.

Los 16 bloques llamados *sector trailer* que son los identificados con los números 3, 7, 11, 15, 19, 23, 27, 31, 35, 39, 43, 47, 51, 55, 59 y 63 no pueden ser utilizados por el usuario para grabar información, sino solamente para seleccionar la configuración y las opciones de seguridad de cada sector.

Figura 18. **Organización del Sector Trailer**

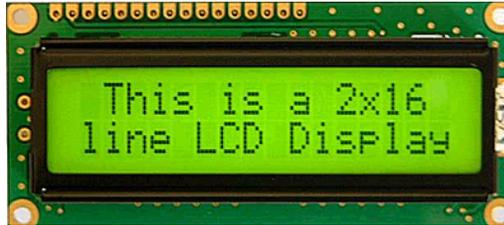
Byte Number	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Description	Key A					Access Bits				Key B (optional)						

Fuente: MIFARE. *Mifare Card Classic S50: Data Sheet*. p. 11.

3.3. Módulo LCD 2x16

El módulo LCD (*liquid crystal display*) contiene una pantalla de cristal líquido la cual tiene la capacidad de mostrar cualquier carácter alfanumérico, permitiendo representar la información que genera cualquier dispositivo electrónico de una forma fácil y económica. Las pantallas LCD 2x16 constan de 2 líneas de 16 caracteres, cada carácter está formado por una matriz de 5x7 puntos. Algunos módulos poseen una luz interna (*backlight*) que permite leer la pantalla con mayor facilidad con falta de luz, esta luz trabaja con un led interno y dispone de 2 líneas, ánodo y cátodo para encenderlo.

Figura 19. **Módulo LCD 2x16**



Fuente: *Utilización del visualizador LCD*. www.mikroe.com/img/publication/spa/pic-books/programming-in-c/chapter/04/fig4-19.gif. Consulta: 13 de octubre de 2014.

La representación de caracteres alfanuméricos por parte de la LCD se realiza interpretando caracteres ASCII, en el caso del microcontrolador, se puede comunicar a través de comandos de 8 bits. Estos comandos son controlados a través de 3 líneas de control, que le indican al módulo si los datos que se le envían son comandos o caracteres y si se lee o escribe el módulo.

Poseen una línea de habilitación lo que permite utilizar la misma conexión paralela para otros dispositivos. Si se transmite en 4 bits se utilizan las líneas de datos D7 a D4 y las líneas D3 a D0 no se utilizan. La comunicación se hace transmitiendo primero los 4 bits de mayor peso y luego los 4 bits de menos peso.

El módulo LCD permite realizar diferentes efectos de visualización, entre los cuales se tienen: desplazamiento de caracteres, hacia la izquierda y hacia la derecha, parpadeo del cursor, especificación de la posición de cada carácter, entre otros.

3.3.1. Componentes

El módulo consta de un circuito integrado controlador de la pantalla, una pantalla de consta de 2 líneas y de 16 caracteres por línea. El circuito integrado controlador de la pantalla es el dispositivo Hitachi HD44780U. Los pines de conexión de este módulo incluyen un bus de datos de 8 bits, un pin de habilitación (E), un pin de selección, que indica si el dato es una instrucción o un carácter (RS), un pin de selección de escritura o lectura en el módulo (R/W).

3.3.2. Patillaje

El módulo LCD utiliza 16 pines para la conexión externa. Los cuales son:

Tabla II. Descripción de patillaje del módulo LCD

Núm. PIN	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	FUNCIÓN
1	Vss	Patilla de tierra	0V (GND)
2	Vcc	Patilla de alimentación	+5V
3	Vee	Patilla de ajuste de contraste	
4	RS	Patilla de registro de control/datos	RS = 0: registro de control RS = 1: registro de datos
5	R/W	Patilla de selección de lectura/escritura	R/W = 0: modo de escritura R/W = 1: modo de lectura
6	E	Patilla de habilitación del módulo	
7	D0	Líneas de entrada/salida de datos	8 bits, D0-D7
8	D1		
9	D2		
10	D3		
11	D4		
12	D5		
13	D6		
14	D7		
15	LED+	Voltaje de alimentación positivo	+5V
16	LED-	Voltaje de alimentación negativo	0V (GND)

Fuente: elaboración propia.

3.3.3. Controlador Hitachi HD44780U

Este dispositivo es el encargado de recibir los datos de caracteres y señales de control provenientes del microcontrolador; también realizar la visualización del texto y símbolos deseados en la posición correspondiente dentro de la pantalla de 2x16 caracteres.

El controlador HD44780U permite realizar las siguientes funciones de visualización:

- Presentar caracteres ASCII
- Recibir y mostrar caracteres personalizados
- Desplazar los caracteres hacia la derecha como hacia la izquierda
- Cambiar el aspecto y movimiento del cursor
- Direcccionar la posición de visualización de los caracteres

El controlador posee una memoria RAM que está dividida en 2 bloques:

- La DDRAM (*Data Display RAM*) almacena los códigos ASCII de los caracteres que se desean que aparezcan en pantalla y existe una correspondencia entre las filas de la pantalla y las posiciones consecutivas de memoria. La DDRAM tiene un tamaño de 80 *bytes* (40 en cada fila), de los cuales se visualizan 31 caracteres, 16 de cada fila.
- La CGRAM (*Character Generator RAM*) la cual corresponde a la memoria de generación de los caracteres auxiliares. Cada uno de los caracteres tienen una representación binaria de 8 bits. Para visualizar un carácter debe recibir por el bus de datos el código correspondiente al carácter.

Figura 20. Caracteres definidos en la memoria CGRAM

b7- b3-b4 b0	0000	0010	0011	0100	0101	0110	0111	1010	1011	1100	1101	1110	1111
0000 CG- RAM (1)		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B
0001 (2)	!	1	A	Q	a	q	。	ア	チ	△		ä	q
0010 (3)	"	2	B	R	b	r	「	イ	ツ	×		ß	ø
0011 (4)	#	3	C	S	c	s	」	ウ	テ	モ		ε	ø
0100 (5)	\$	4	D	T	d	t	、	エ	ト	ヤ		μ	Ω
0101 (6)	%	5	E	U	e	u	・	オ	ナ	ユ		σ	Ü
0110 (7)	&	6	F	V	f	v	ヲ	カ	ニ	ヨ		ρ	Σ
0111 CG- RAM (8)	'	7	G	W	g	w	ヲ	キ	ヌ	ラ		g	π
1000 CG- RAM (1)	(8	H	X	h	x	ィ	ウ	ネ	リ		∫	×
1001 (2))	9	I	Y	i	y	ッ	ケ	ル			'	∫
1010 (3)	*	:	J	Z	j	z	エ	コ	シ	レ		j	¥
1011 (4)	+	;	K	L	k	l	ク	オ	サ	ヒ	ロ	*	¥
1100 (5)	,	<	L	¥	l	l	ヤ	シ	フ	ワ		φ	¥
1101 (6)	-	=	M	I	m	i	ユ	ズ	ヘ	ン		±	÷
1110 (7)	.	>	N	^	n	→	ヨ	セ	ホ	°		ñ	
1111 CG- RAM (8)	/	?	O	_	o	←	ッ	ソ	マ	°		ö	■

Fuente: JHD Electronics Co. *JHD 162A SERIES: Data Sheet*. p. 6.

3.3.4. Señales de datos y control para desplegar texto en el módulo LCD

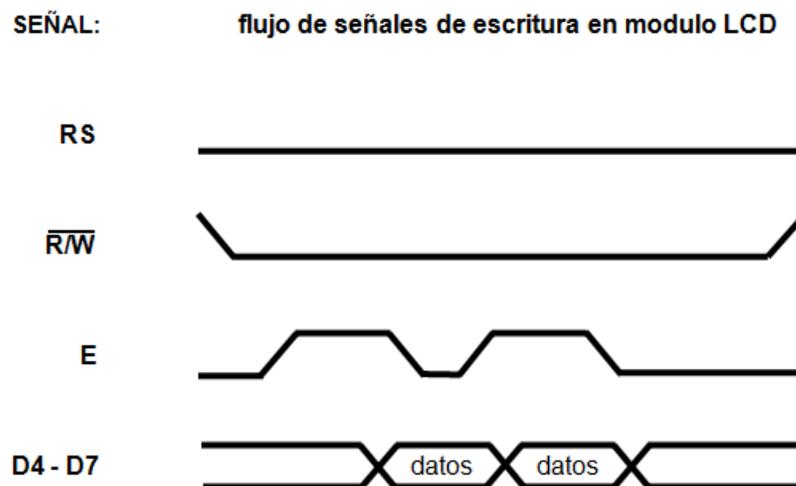
Se puede utilizar solo la mitad del bus de datos para trabajar, lo cual implica que se trabaja en modo de 4 bits. En este modo se debe leer o escribir 2 veces, en la primera transmisión se envía el *nibble* con la parte alta del *byte* de datos o instrucciones (MSB) y en la segunda el *nibble* con la parte baja del *byte* (LSB) del dato o instrucción.

Para este proyecto se utiliza únicamente el modo de escritura en el módulo LCD 2x16, por lo que a continuación se describen el flujo de señales que permiten la transmisión y visualización de caracteres.

Para transmitir el código ASCII del carácter que se desea visualizar, el microcontrolador debe colocar la señal R/W en estado lógico 0 para que se seleccione el modo de escritura. Después la señal E se coloca en estado lógico 1 para habilitar el módulo. Lo siguiente es enviar el código del carácter a través de las líneas de datos, en este caso en el modo de 4 bits.

Dado que se utiliza el modo de 4 bits, la escritura completa del código de instrucción o de un carácter requiere de 2 ciclos de transmisión de datos. En el modo de escritura, no importa el estado lógico de la señal RS por lo que se puede colocar a estado lógico 0 de forma permanente.

Figura 21. **Flujo de señales de escritura en el módulo LCD**

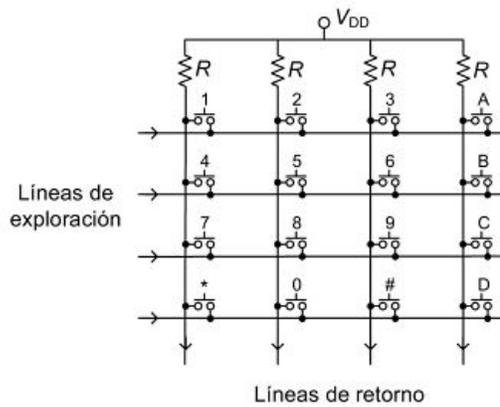


Fuente: elaboración propia.

3.4. Teclado matricial

Un teclado matricial está compuesto por teclas interconectadas formando una matriz, de aquí el nombre teclado matricial. Las teclas de las que está compuesto son simples interruptores mecánicos y cada uno ocupa la intersección de una fila con una columna donde está dicha tecla. Las filas y columnas de esta matriz se pueden conectar a los terminales de uno o más puertos paralelos.

Figura 22. Teclado matricial de 16 teclas



Fuente: PALLAS, Ramón; PÉREZ, Fernando, *Microcontroladores, fundamentos y aplicaciones*.

p. 169.

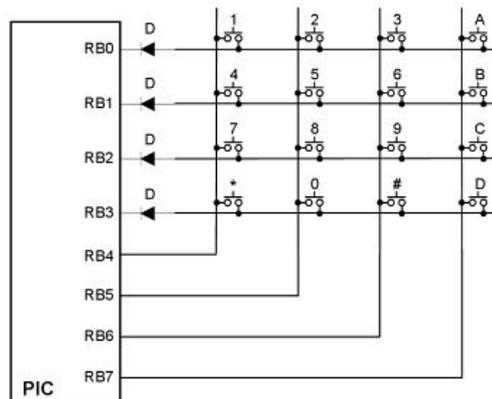
Para explorar un teclado matricial se envían señales hacia las filas de la matriz por las líneas de exploración y se recoge información por las columnas, que entonces constituyen las líneas de retorno. Básicamente si no hay una tecla pulsada, todas las líneas de retorno están en el nivel lógico 1. Las líneas de exploración son puestas a 0. Este valor lógico solo aparece en las líneas de retorno donde está la tecla pulsada, mientras que las líneas restantes de retorno mantienen el valor 1. Con la información enviada hacia la matriz y la que

retorna, se conforma un código único para cada tecla, llamado código de exploración.

El mecanismo empleado para atender a los teclados matriciales tiene los pasos siguientes:

- Esperar la liberación del teclado, debido al pulsado de la tecla anterior a la actual.
- Detectar una nueva tecla pulsada.
- Si se detecta que se ha pulsado una tecla, se debe esperar un tiempo prudencial para que termine el rebote, alrededor de unos 20 ms.
- Se explora la matriz del teclado para determinar cuál es la tecla que ha sido pulsada. En este paso se genera el código de exploración que identifica la tecla pulsada, que contiene básicamente los números de la fila y la columna que ocupará la tecla en la matriz.

Figura 23. **Conexión del teclado matricial de 16 teclas con el PIC**



Fuente: PALLAS, Ramón; PÉREZ, Fernando. *Microcontroladores, fundamentos y aplicaciones*.

p. 172.

4. DISEÑO DEL SISTEMA DE COBRO

El sistema de cobro propuesto se basa en un sistema que utiliza la tecnología RFID para su funcionamiento, por ello se debe utilizar un módulo RFID especial; el cual se debe controlar e interpretar los datos con los que funciona, al mismo tiempo, se deben emplear otros elementos como lo son: el módulo LCD, el teclado matricial y además se debe tomar en cuenta la fuente de alimentación y los voltajes necesarios para su correcto funcionamiento.

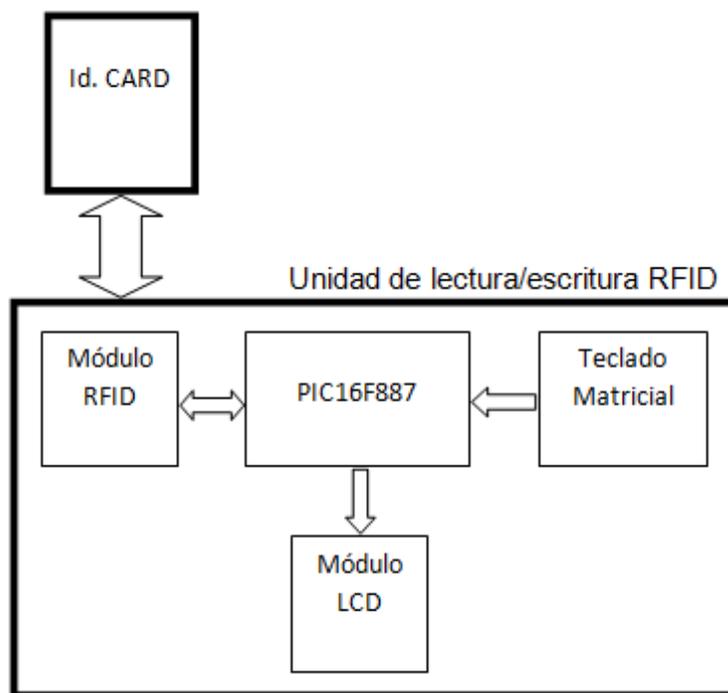
El dispositivo encargado de realizar todas las tareas de control e interpretación de datos es el microcontrolador, por lo que se debe tomar en cuenta varios factores como lo son el voltaje de alimentación, temperatura, corriente eléctrica, entre otros.

4.1. Esquema de bloques del sistema de cobro

El sistema de cobro se construye básicamente del módulo de lectura y escritura de tarjetas de radiofrecuencia, el microcontrolador se encargará de controlar e interpretar datos, el módulo LCD, el cual será el encargado de mostrar al exterior datos importantes y las operaciones que se están llevando a cabo, además del teclado matricial se tiene la opción de controlar el costo del servicio de taxi ingresando, para ello las cantidades necesarias y las operaciones que se desean realizar. Por último, se tienen las tarjetas de radiofrecuencia serán el medio de transporte del dinero para el servicio de taxi y de las cuales se debitará dicho servicio.

La figura 24 muestra la conexión de los diferentes módulos periféricos, el microcontrolador, el módulo LCD, el módulo RFID y el teclado matricial. Además muestra la comunicación entre el módulo LCD y el microcontrolador, en una sola dirección al igual que el teclado matricial.

Figura 24. **Esquema de bloques del sistema de cobro**



Fuente: elaboración propia.

4.2. Diagrama de conexiones del microcontrolador

Cada módulo periférico es independiente físicamente y posee únicamente una serie de pines para conectarse y comunicarse con el microcontrolador, por ello la placa electrónica del microcontrolador debe ser diseñada para que cada conexión de puerto sea compatible con los conectores de cada módulo.

4.2.1. Circuito de alimentación

La placa electrónica diseñada para conectar el microcontrolador tiene implementado un circuito regulador de voltaje de 5 voltios (V) fijos, con el fin de mantener un suministro de energía estable, Dicha fuente de alimentación también suministra energía a cada uno de los módulos periféricos adicionales que se conectan con el microcontrolador.

El circuito de alimentación consta de un dispositivo regulador LM7805 y capacitores reductores de rizo. En la entrada del circuito se debe colocar un voltaje de entre 9 a 12 V y con capacidad de una corriente máxima de por lo menos 1 amperio (A).

4.2.2. Conexión de los módulos

Los módulos periféricos se conectan a la placa del microcontrolador por medio de cable y conectores IDC. Cada módulo se conecta a un puerto específico del microcontrolador, en el cual se realiza la interacción de señales eléctricas para el intercambio de información y el control de los procesos.

Las tablas III, IV y V describen la conexión de los pines entre cada módulo periférico y el correspondiente puerto del microcontrolador al que van conectados además de la función que realiza.

Tabla III. **Conexión PIC y el módulo RFID-UART**

PIC	Módulo	Función
RC6	TX	Pin de transmisión de datos.
RC7	RX	Pin de recepción de datos.
VDD	VCC	Conexión de voltaje positivo de la fuente.
VSS	GND	Referencia del voltaje de la fuente.

Fuente: elaboración propia.

Tabla IV. **Conexión PIC y el módulo LCD 2x16**

PIC	Módulo	Función
RB0-RB3	D4-D7	Pines de transmisión de datos.
RB4	RS	Pin de selección del registro control o registro de datos.
RB5	E	Pin de habilitación de la operación del módulo.
VSS	VCC	Conexión de voltaje positivo de la fuente.
VDD	GND	Referencia del voltaje de la fuente.

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. **Conexión PIC y el teclado matricial**

PIC	Módulo	Función
RD0-RD3	Líneas de retorno	Pines de conexión de las líneas de retorno.
RD4-RD7	Líneas de exploración	Pines de conexión de las líneas de exploración.
VSS	VCC	Conexión de voltaje positivo de la fuente.
VDD	GND	Referencia del voltaje de la fuente.

Fuente: elaboración propia.

4.2.3. Otros componentes

Para el arranque del sistema se implementará un interruptor de inicio y apagado, con el cual se podrá controlar el sistema de cobro, este interruptor será el paso de corriente hacia todo el circuito por lo que la deshabilitación de este apagará todo el sistema.

Para el efectivo funcionamiento del microcontrolador PIC se requiere de un circuito de reinicio del PIC. Para dicha función, se utiliza el arreglo de una resistencia y un interruptor pulsador que alimentan con un nivel de tensión la patilla del reinicio maestro (MCLR) del microcontrolador.

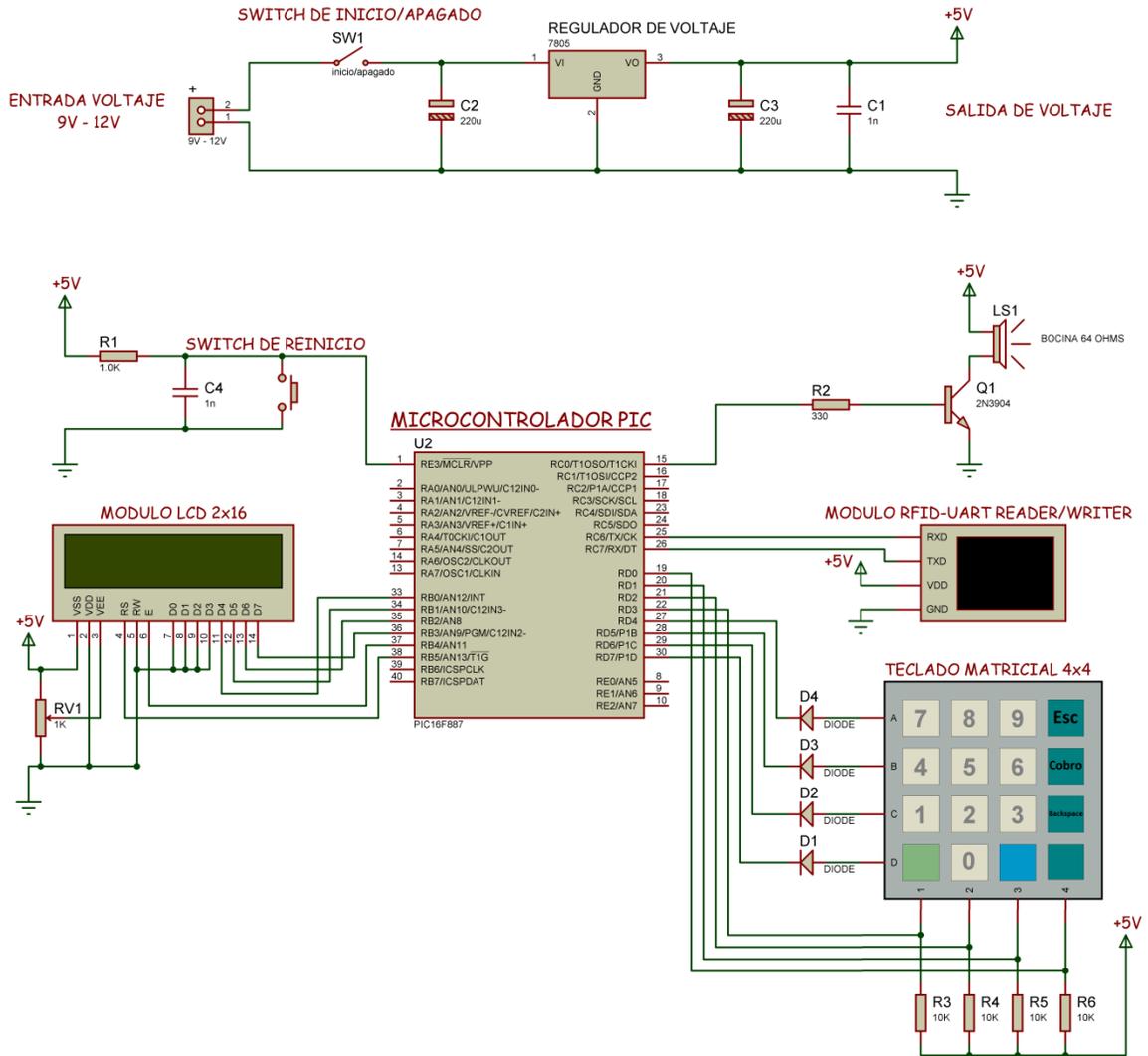
Para un mejor entendimiento del funcionamiento del sistema de cobro se utilizará una pequeña bocina, por medio de un transistor junto con una serie de resistencias, esta bocina indicará la finalización de la operación de cobro, si esta se realizara con éxito, y si no tuviera un valor válido al momento de realizar el cobro, además indicará por medio de un sonido el arranque del sistema.

Otro componente importante se encuentra en el módulo LCD, y es un *trimpot* con el cual se ajusta el contraste de la pantalla, este *trimpot* se coloca entre VCC y GND, y la señal de salida va hacia la patilla VEE del módulo LCD.

4.2.4. Diseño del circuito impreso en placa

La figura 25 muestra el diagrama circuital de la conexión del microcontrolador PIC y sus circuitos auxiliares.

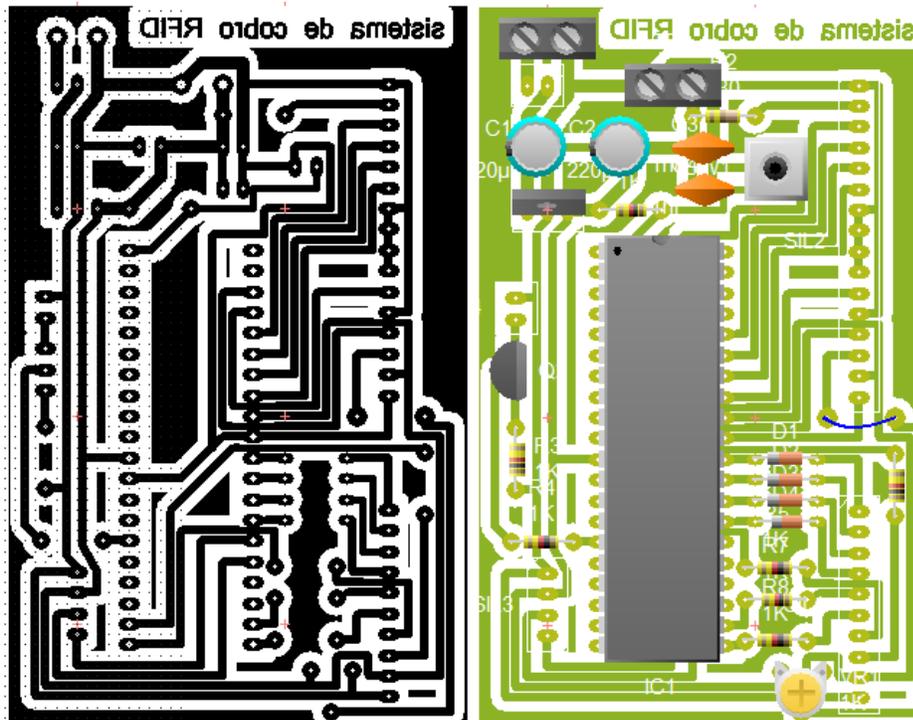
Figura 25. Diagrama circuital de la placa del PIC



Fuente: elaboración propia, con programa Proteus 8.

La figura 26 muestra el diagrama del circuito impreso de la placa del microcontrolador PIC16F887 y la composición física de los componentes instalados.

Figura 26. Diagrama del circuito impreso de la placa del PIC



Fuente: elaboración propia, con programa PCB Wizard.

4.3. Programación del microcontrolador PIC16F887

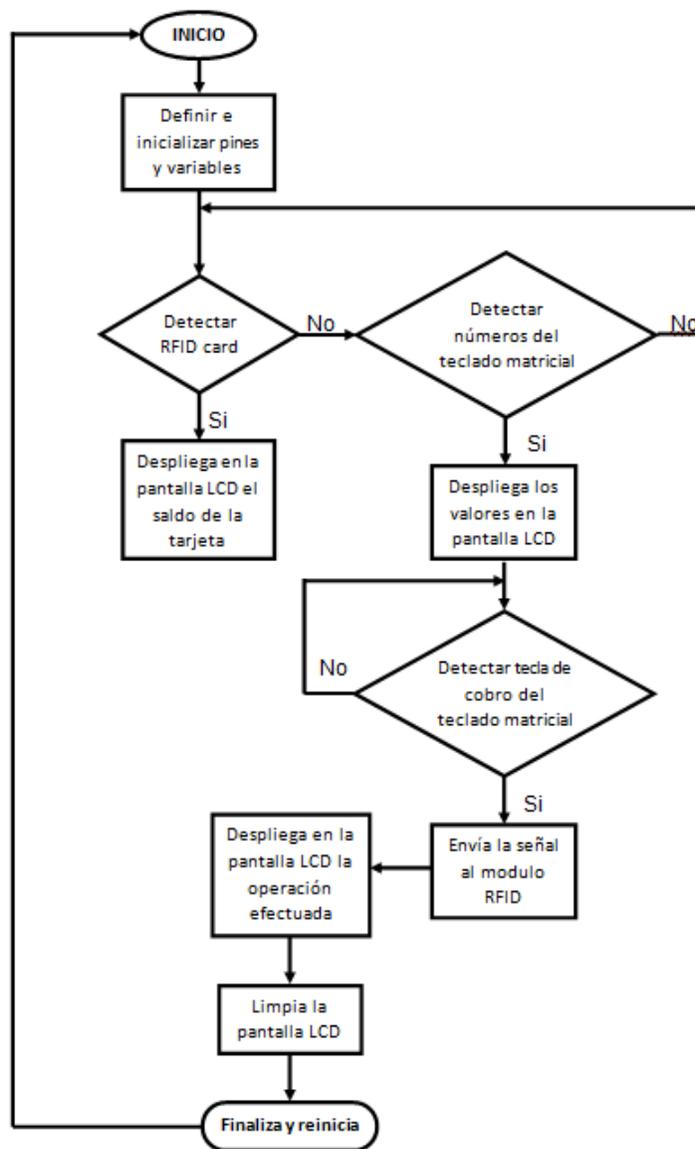
El microcontrolador es el encargado de operar las funciones del módulo RFID, además de controlar el módulo LCD e interpretar los datos mandados por el teclado matricial. Todas estas operaciones se traducen a instrucciones, del código del programa, que se carga en el microcontrolador.

El código del programa que gobierna las acciones del PIC16F887 se escriben en lenguaje *Basic*. Haciendo uso del software *PIC Simulator IDE* y las librerías que tiene, esto permite gran flexibilidad en la programación y facilidades en el manejo de los módulos periféricos.

4.3.1. Diagrama de flujo

El diagrama muestra la secuencia de pasos que sigue el sistema de cobro.

Figura 27. Diagrama de flujo del sistema de cobro



Fuente: elaboración propia.

4.3.2. Algoritmo del código del programa

El código del programa del PIC consiste en la siguiente secuencia de pasos:

- Inicio de programa en este paso se inicializan los módulos y el arranque del programa.
- Definir e inicializar variables de almacenamiento.
- Definir los pines de puerto que serán utilizados para la comunicación con los módulos externos.
- Detección de datos provenientes del módulo RFID.
- Si los datos detectados corresponden a una tarjeta RFID se desplegará en la pantalla LCD el saldo que tenga la tarjeta.
- Si los datos detectados no corresponden a una tarjeta RFID, se avanza a la detección de números del teclado matricial.
- Si existen pulsación de teclas, se muestran en la pantalla LCD el número correspondiente.
- Si se detecta el botón de cobro, la cantidad ingresada a través del teclado matricial será la cantidad que se debitará de la tarjeta.
- Al pulsar la tecla de cobro se enviará una señal al módulo RFID para que sobrescriba la tarjeta debitando el valor correspondiente.

- Al realizar esta operación se mostrará en la pantalla la transacción que se está realizando.
- Se limpiará la pantalla indicando que la transacción se realizó con éxito.
- Finalmente se reinicia el proceso del PIC.

4.3.3. Descripción de comandos y librerías

Los comandos más importantes en el código del programa del microcontrolador, son los dados a continuación.

- Dim: declara variables.
- Symbol: declarará una variable del sistema, utilizando nombres simbólicos.
- AllDigital: establece como digitales, los pines del microcontrolador.
- TRIS: establece, como entradas o salidas los pines del microcontrolador.
- Gosub: llama un subprograma o subrutina.
- Return: retorna al programa principal al haber terminado la subrutina.
- If: condicional de toma de decisión básica.
- Else: declara una nueva condición en una operación If.
- Endif: finaliza la condición If.
- WaitMs: espera de tiempo de la ejecución del programa, en microsegundos.
- Freqout: genera un tono, a una frecuencia determinada.
- Goto: realiza saltos incondicionales.
- End: indica la finalización del programa.

De la librería de funciones para la operación de la pantalla LCD 2x16 se utilizan los siguientes comandos:

- Lcdinit: inicializa el control del módulo LCD.
- Lcddefchar: define un carácter por el programador.
- Lcdcmdout: envía comandos al módulo LCD.
- Lcdout: envía datos al módulo LCD.
- LcdClear: borra la pantalla LCD.
- Define: define los pines del microcontrolador.
- LCD_BITS: define el número de bits de la interfaz de datos.
- LCD_DREG: define a que puertos del microcontrolador, se conectan los pines de datos del módulo LCD.
- LCD_DBITS: define cuál es el primer pin, del puerto que se utiliza para enviar los datos al módulo LCD.
- LCD_RSREG: define a que puerto del microcontrolador, se conecta el pin RS del módulo LCD.
- LCD_RSBIT: define a que pin del microcontrolador, se conecta el pin RS del módulo LCD.
- LCD_EREG: define a que puerto del microcontrolador, se conecta el pin E del módulo LCD.
- LCD_EBIT: define a que pin del microcontrolador, se conecta el pin E del módulo LCD.

De la librería de funciones de la interfaz UART del microcontrolador, se utilizan los siguientes comandos:

- Serout: transmite una serie de datos a través de la interfaz UART del microcontrolador.

- Serin: carga una lista de datos recibidos a través de la interfaz UART del microcontrolador.

4.3.4. Parámetros de compilación en *PIC Simulator IDE*

Hasta el momento, el código de programación está escrito en lenguaje *Basic*, pero para poder cargarlo a la memoria del microcontrolador se requiere convertirlo en un código hexadecimal. Para dicha tarea el software *PIC Simulator IDE* posee un compilador, pero antes de compilar el código es necesario configurar los siguientes parámetros indispensables:

- Frecuencia de reloj en el valor de 8 MHz.
- Tipo de oscilador.
- Activar las librerías de funciones como Lcd, Lcd: *Constants*, la comunicación UART, entre otros.
- Depurar los errores de programación en el código.

4.3.5. Grabación del programa

Para la carga del código ejecutable a la memoria del microcontrolador se utilizará la grabadora de PIC, *Mini_QL2006* de la empresa QLS electronics, que se conecta a la computadora con un cable USB y le transmite las señales eléctricas con la información del código.

En la computadora se utiliza el software *QL_PROGen* en el cual se configuran los parámetros de grabación del código, además de tener la capacidad de leer la información de la memoria del PIC, borrar dicha información y cargar un nuevo código.

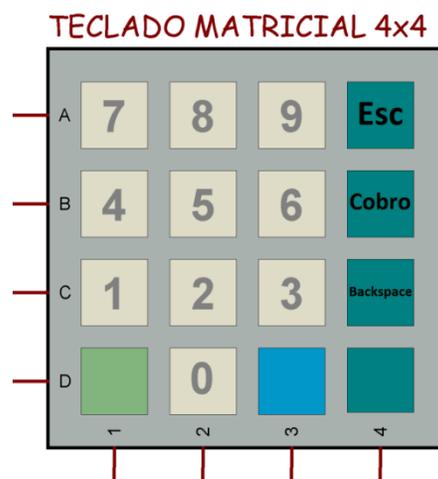
4.4. Descripción del teclado matricial

El teclado matricial será el encargado de ingresar valores al sistema, dichos valores serán mostrados a través de la pantalla LCD, además por medio del teclado matricial se controlarán las operaciones disponibles del sistema de cobro.

Las teclas que componen el teclado matricial son las siguientes:

- Los números de 0-9: estas teclas serán utilizadas para ingresar valores al sistema, necesarios para indicar la cantidad de dinero específica, a debitar de la tarjeta RFID.
- Tecla Esc: regresa a la pantalla principal del sistema.
- Tecla Cobro: realiza el cobro a la tarjeta RFID.
- Tecla *Backspace*: borra un valor ingresado.

Figura 28. Descripción del teclado matricial



Fuente: elaboración propia, con programa Proteus 8.

4.5. Funcionamiento final del sistema de cobro

En esta sección se explican los procedimientos propuestos para la puesta en funcionamiento del sistema de cobro aplicado para taxis, utilizando el sistema de identificación por radiofrecuencia.

Todos los procedimientos tendrán que seguirse de manera correcta para que el sistema de cobro funcione de forma adecuada, siendo necesario leer detalladamente cada instrucción e indicación del funcionamiento y uso del sistema de cobro.

4.5.1. Inicialización y apagado del sistema

Para iniciar la operación del sistema de cobro solo es necesario establecer el paso de corriente hacia todo el sistema, esto se hace activando el interruptor principal.

Se tiene la opción de reiniciar el sistema, esto se hace con un nivel de voltaje determinado a través del pin reinicio maestro (MCLR) del microcontrolador, por medio de un interruptor pulsador.

Para apagar el sistema solo es necesario oprimir el interruptor principal para impedir el paso de corriente hacia el circuito.

4.5.2. Descripción del sistema cobro

El sistema de cobro muestra, por medio de la pantalla LCD, la operación que se está realizando o que se desea realizar, utilizando la tarjeta de radiofrecuencia que posee el usuario. La descripción es la siguiente:

- Inicialmente, el sistema de cobro mostrará por medio de la pantalla LCD, la imagen correspondiente al logotipo del programador (CH). Luego se producirá un sonido de 3 KHz, indicando el arranque del sistema, la duración del sonido será de 400 ms y de la imagen de 800 ms, para finalmente borrar la pantalla (ver figura 29).

Figura 29. **Pantalla de logotipo**



Fuente: elaboración propia.

- Seguidamente se visualizará la pantalla de inicio la cual estará acompañada de 2 tonos, el primero de 2,5 KHz con una duración de 50ms y el segundo de 3 KHz con una duración de 50 ms, la pantalla de inicio tendrá una duración total de 1.3 segundos (ver figura 30).

Figura 30. **Pantalla de inicio**



Fuente: elaboración propia.

- La pantalla principal del sistema de cobro, será la que muestre el saldo de la tarjeta que se coloque, sino se detecta una tarjeta, el saldo mostrado es 0 (ver figura 31).

Figura 31. **Pantalla de principal**



Fuente: elaboración propia.

- Si se pulsa alguna tecla, se colocará en la pantalla LCD el valor correspondiente, indicando que este será el cobro a realizar. Si no se desea realizar ningún cobro se puede regresar a la pantalla principal pulsando la tecla Esc (ver figura 32).

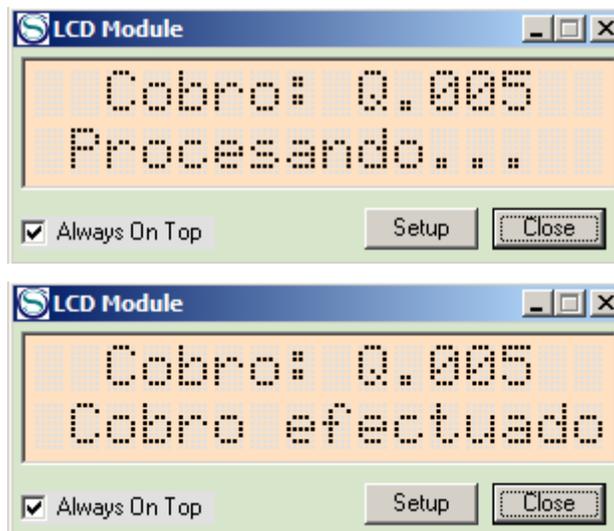
Figura 32. **Pantalla de cobro**



Fuente: elaboración propia.

- Si se oprime la tecla de cobro, automáticamente se debitará de la tarjeta la cantidad de dinero específica por el servicio. Mostrando en la pantalla el proceso, seguidamente se producirán 2 tonos, el primero de 2,5 KHz y el segundo de 3 KHz ambos con una duración de 100 ms (ver figura 33).

Figura 33. **Pantallas de pago**



Fuente: elaboración propia.

- Si el cobro a efectuar sobrepasa el saldo existente en la tarjeta, la pantalla LCD mostrará un mensaje de saldo insuficiente, seguidamente de un tono de 450 Hz con una duración de 500 ms (ver figura 34).

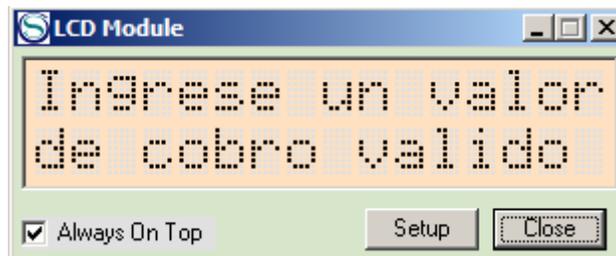
Figura 34. **Pantalla de saldo insuficiente**



Fuente: elaboración propia.

- Si se oprime la tecla de cobro, pero el valor ingresado no es válido, se mostrará una pantalla indicando que se ingrese un valor de cobro válido, seguido de un tono de 450 Hz con una duración de 500 ms, la pantalla de error tendrá una duración total de 3,5 segundos (ver figura 35).

Figura 35. **Pantalla de error**



Fuente: elaboración propia.

4.5.3. Procedimiento para utilizar el sistema de cobro

Inicialmente el sistema de cobro mostrará la pantalla principal, esta pantalla indicará el saldo que se tenga en una tarjeta RFID, este valor será leído

cuando se detecte alguna tarjeta cercana (5 cm de distancia), si no se detecta alguna tarjeta el valor mostrado en saldo será Q 0.

Si se pulsara alguna tecla la pantalla mostrada será la de cobro, indicando el valor de la tecla que se oprimió, si se desea hacer efectivo el cobro, será necesario colocar nuevamente la tarjeta y oprimir la tecla cobro.

La tecla cobro automáticamente lee la tarjeta RFID y hace una comparación del saldo que se tiene y el valor que se desea cobrar, si el valor de saldo es mayor a cobro entonces, el cobro se hace de forma correcta mostrando las pantallas de pago, pero si el saldo es menor al valor de cobro la operación no se puede realizar, mostrando la pantalla de saldo insuficiente.

Si no se ingresa ningún valor, pero se oprime la tecla de cobro, automáticamente se detecta que el cobro es Q 0 y por lo tanto la operación no se puede realizar, hasta que no se ingrese un valor válido, la pantalla de error mostrará este mensaje.

La tecla Esc es la encargada de salir a la pantalla principal, por ejemplo si se ha pulsado alguna tecla, automáticamente se ingresa a la pantalla de cobro, pero si ya no se desea realizar ninguna operación entonces se puede pulsar Esc para salir de nuevo a la pantalla principal y borrar los datos ingresados.

4.5.4. Propuesta para adquirir saldo a través de la tarjeta RFID

Un sistema de cobros comprende un conjunto de recursos y servicios que ayudan a la transferencia de dinero, comúnmente en pago de algún servicio o bien. El objetivo general del sistema de cobro es contar con un manejo eficiente de los ingresos y egresos que existen por el uso de algún servicio.

Un sistema que involucre cobros de dinero debe ser bastante exacto y a la vez seguro para evitar cualquier clase de conflicto que pueda existir con los usuarios, además debe ser fácil de implementar para así tener una gran usabilidad por los usuarios, debe ser práctico para los usuarios y beneficioso hacia ellos en lo que respecta a cobro por un servicio.

Existen muchas maneras de cobro como por ejemplo el sistema pospago, en el que primero se recibe el producto o servicio y luego, después de cierto período de tiempo es pagado.

4.5.4.1. Sistema prepago

Es uno de los sistemas de pago más usados actualmente, por tener gran facilidad y brindar una mayor eficiencia y seguridad a los usuarios, consiste básicamente en pagar por un producto o servicio y luego después de cierto período de tiempo entregar dicho producto o servicio.

Para ofrecer una mayor eficiencia y seguridad hacia las personas, el sistema de cobro será un sistema prepago, por lo que para poder adquirir saldo a través de la tarjeta RFID, será necesario dirigirse a alguna estación de recarga en la que se transferirá una cantidad de saldo determinada a la tarjeta, correspondiente con el pago de dinero que se haga.

La recarga de la tarjeta se hará sobrescribiendo un valor, en un bloque de memoria determinado por el sistema, además un punto importante es la adquisición de las tarjetas, estas podrían estar disponibles en las estaciones de recarga a un precio determinado.

4.6. Inversión económica

La inversión económica para la elaboración del sistema consiste básicamente en el costo de los componentes hardware del sistema.

4.6.1. Cotización del sistema propuesto

La tabla VI incluye los componentes del circuito de alimentación de voltaje.

Tabla VI. **Listado de componentes electrónicos del circuito del PIC**

Cantidad	Descripción	Costo total en Q
3	1x16 pines IDC	6,75
1	Bocina de 64-ohm	8,00
2	Borneras	4,00
2	Capacitor cerámico de 1 nF / 64 V	3,00
2	Capacitor electrolítico de 220 uF / 16 V	2,50
4	Diodo rectificador	4,00
1	Interruptor	8,50
1	PIC16F887	90,00
1	Placa de circuito impreso	30,00
1	Pulsador normalmente abierto	2,00
1	Regulador de voltaje LM7805	5,00
4	Resistor de 10 K-ohm, $\frac{1}{4}$ Watt	2,40
1	Socket DIP 40 pines	40,00
1	Transistor NPN 2N3904	1,25
	Total	Q 208,00

Fuente: Electrónica RC&H.

La tabla VII enlista los componentes electrónicos que conforman el circuito de conexión de la pantalla LCD.

Tabla VII. **Listado de componentes electrónicos del circuito de LCD**

Cantidad	Descripción	Costo total en Q
1	1x16 pines IDC	2,25
1	<i>Trimpot</i> 1 K-ohm	4,00
1	Resistor de 330-ohm, $\frac{1}{4}$ Watt	0,60
1	Pantalla LCD, 2X16 caracteres	90,00
	Total	Q 96,85

Fuente: Electrónica RC&H.

Tabla VIII. **Listado de módulos periféricos adicionales**

Cantidad	Descripción	Costo total en \$
1	Módulo RFID-UART <i>Reader/Writer</i>	21,90
1	RFID <i>Card</i>	1,80
1	Teclado matricial	10,00
	Total	\$ 33,70

Fuente: Electrónica RC&H. Tipo de cambio Q 7,59153. Guatemala 6 de enero de 2015.

El precio de algunos componentes puede variar dependiendo del lugar de compra, pero se puede estimar que el costo total es Q 568,00

CONCLUSIONES

1. Se determinaron los fundamentos y el funcionamiento de un sistema de identificación por radiofrecuencia.
2. Se describió la estructura y función de los microcontroladores y de los módulos periféricos adicionales utilizados en el sistema de cobro.
3. Se desarrolló un código ligero y eficaz que controle los distintos procesos del sistema de cobro.
4. Se optimizaron los recursos de hardware que componen el sistema, minimizando la cantidad de componentes utilizados.

RECOMENDACIONES

1. Tomar en cuenta que la información almacenada en la tarjeta RFID es guardada en una sección y un bloque específico, si se desea cambiar de sección o bloque es necesario modificar el programa del microcontrolador.
2. Tomar en cuenta que para almacenar información en la tarjeta RFID es necesario una llave única, si se desea cambiar de llave es necesario modificar el programa del microcontrolador.
3. Si se desea que el sistema pueda trabajar con una fuente de alimentación alterna, es necesario rediseñar el circuito de alimentación.
4. De ser necesario se puede colocar un disipador de temperatura y pasta disipadora al regulador de voltaje, tomando en cuenta el tiempo de funcionamiento del sistema de cobro.

BIBLIOGRAFÍA

1. BODINGTON, Christian. *Basic para microcontroladores PIC*. USA: Trafford Publishing, 2007. 362 p. ISBN: 9781425110949.
2. COUCH, Leon. *Sistemas de comunicación digital y analógica*. México: Prentice Hall, 2008. 784 p. ISBN: 9789702612162.
3. Elechouse. *13.56 MHz RFID Manual*. [en línea]. <http://www.elechouse.com/elechouse/images/product/13.56MHZ_RFID_MODULE/13.56MHZ_RFID_MANUAL.pdf>. [Consulta: 10 de septiembre de 2014].
4. _____. *Mifare Standard Card IC MF1 IC S50 Data Sheet*. [en línea]. <http://www.elechouse.com/elechouse/images/product/13.56MHZ_RFID_MODULE/mifare_S50.pdf>. [Consulta: 10 de septiembre de 2014].
5. GIDEKEL, Alan. *RFID Introducción a la identificación por radio frecuencia*. [en línea]. Argentina: Telectrónica Codificación, S. A., 2006. <<http://www.telectronica.com/rfidtelectronica.pdf>>. [Consulta: 5 de septiembre de 2014].
6. Hitachi. *HD44780 Data Sheet*. [en línea]. <<http://www.sparkfun.com/datasheets/LCD/HD44780.pdf>>. [Consulta: 15 de octubre de 2014].

7. Itron. *JHD 162A Series Data Sheet*. [en línea].
<http://www.itron.com.cn/PDF_file/JHD162A%20SERIES.pdf>.
[Consulta: 11 de octubre de 2014].
8. Microchip Technology Incorporated. *PIC16F887 Data Sheet*. [en línea].
USA. <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/41291D.pdf>>. [Consulta: 5 de septiembre de 2014].
9. NXP Semiconductors. *MF1ICS50 Data Sheet*. [en línea]. Netherlands.
<http://www.nxp.com/documents/data_sheet/M001053_MF1ICS50_rev5_3.pdf>. [Consulta: 15 de septiembre de 2014].
10. _____. *MFRC522 Data Sheet*. [en línea]. Netherlands.
<http://www.nxp.com/documents/data_sheet/MFRC522.pdf>.
[Consulta: 12 de septiembre de 2014].
11. Oshon Software. *PIC Simulator IDE Basic Compiler Reference Manual*.
[en línea].
<<http://www.oshonsoft.com/picbasiccompilerreferencemanual.html#192>>. [Consulta: 20 de noviembre de 2014].
12. PORTILLO, Javier; BERMEJO, Ana; BERNARDOS, Ana. *Tecnología de identificación por radiofrecuencia (RFID): aplicaciones en el ámbito de la salud*. España: Fundación Madrid para el conocimiento, 2008. 176 p. ISBN: 9788461243600.
13. VALDÉS, Fernando; PALLAS, Ramón. *Microcontroladores, fundamentos y aplicaciones con PIC*. España: Marcombo, 2007. 340 p. ISBN: 9788461243600.