

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE DESARROLLO PARA UN  
LECTOR DE TARJETAS INTELIGENTES SIN CONTACTO DE ALTA  
FRECUENCIA**

**SONIA YANETH ROSALES CARREÑO  
JUAN CARLOS CHACÓN CORREA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE  
TELECOMUNICACIONES  
BUCARAMANGA**

**2004**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE DESARROLLO PARA  
UN LECTOR DE TARJETAS INTELIGENTES SIN CONTACTO DE ALTA  
FRECUENCIA**

**SONIA YANETH ROSALES CARREÑO  
JUAN CARLOS CHACÓN CORREA**

Este proyecto es presentado como requisito para optar al título de  
Ingeniero Electrónico

Director  
**JORGE HERNANDO RAMON SUAREZ**  
Ingeniero Electricista

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE  
TELECOMUNICACIONES  
BUCARAMANGA  
2004**

A mis padres y hermanas con todo mi amor, por su esfuerzo, ayuda y comprensión. A toda mi demás familia por su apoyo.

***Sonia.***

A mi madre que siempre ha estado acompañándome con su comprensión, amor y ternura. A Sonia que además de ser mi mejor amiga, siempre ha sido un apoyo fuerte los momentos críticos.

***Juan Carlos***

## AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a:

A Jorge Hernando Ramón Suárez, Ingeniero Electricista, director del proyecto y amigo, por su respaldo, confianza y colaboración oportuna.

La Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones, por la educación brindada, y por facilitar los elementos para la realización del proyecto.

A Alfredo Acevedo y Ernesto Aguilera, Ingenieros Electrónicos, por su incondicional apoyo y colaboración en el desarrollo del proyecto.

## CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
1. SISTEMAS DE IDENTIFICACIÓN AUTOMÁTICA.	4
1.1 INTRODUCCIÓN.	4
1.2 SISTEMAS DE CÓDIGO DE BARRAS.	5
1.3 RECONOCIMIENTO ÓPTICO DE CARÁCTER (OCR).	5
1.4 PROCEDIMIENTOS BIOMETRICOS.	6
1.5 TARJETAS INTELIGENTES BASADAS EN CONTACTO.	6
1.6 SISTEMAS DE IDENTIFICACIÓN POR RADIOFRECUENCIA.	7
1.6.1 Introducción.	7
1.6.1 Funcionamiento de un sistema RFID.	8
1.6.2 Ventajas de la frecuencia usada en sistemas RFID de acoplamiento inductivo en la banda HF.	8
1.6.3 Aplicaciones de los sistemas RFID en el mercado actual.	9
2. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA DE DESARROLLO RFID.	11
2.1 ESPECIFICACIONES GENERALES.	11
2.2 DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA DE DESARROLLO.	12
2.2.1 Tag.	12
2.2.2 Antena.	13
2.2.3 Lector.	14

2.2.3.1	Microcontrolador.	14
2.2.3.2	S6700 Multi Protocol Transceiver IC RI-R6C-001A.	14
2.2.4	COMPUTADOR PERSONAL.	15
3.	SOFTWARE Y PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN.	16
3.1	INTRODUCCIÓN.	16
3.2	PROTOCOLO SERIAL.	16
3.2.1	Formato del paquete de petición PC-Lector.	17
3.2.2	Formato del paquete de respuesta Lector- PC.	18
3.3	PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN.	20
3.3.1	Formatos de los paquetes Petición/Respuesta para los Comandos que maneja el lector según el ISO/IEC15693.	21
3.3.1.1	Comandos Obligatorios .	22
3.3.1.1.1	Inventario.	22
3.3.1.1.2	Estado Reposo.	23
3.3.1.2	Comandos opcionales.	24
3.3.1.2.1	Lectura de Bloque.	24
3.3.1.2.2	Escritura de Bloque.	25
3.4	SOFTWARE DE COMUNICACIÓN.	26
3.4.1	Programa del microcontrolador Motorola HC908GP32.	26
4.	DISEÑO DEL PROTOTIPO LECTOR.	32
4.1	INTRODUCCIÓN.	32
4.2	DISEÑO DEL CIRCUITO ESQUEMÁTICO DEL SISTEMA DE DESARROLLO.	32
4.2.1	Fuente de Alimentación.	33
4.2.2	Circuito de control, comunicación y señalización.	33

4.2.3	Circuito Transductor de Radiofrecuencia.	36
4.2.4	Consideraciones de diseño para circuito impreso.	40
4.3	ENVÍO Y RECEPCIÓN DE DATOS HACIA Y DESDE LA TARJETA.	42
4.3.1	Software de comunicación entre el Lector y la Tarjeta.	42
4.3.2	Software de envío y recepción de datos al PC , por medio de Visual Basic 6.0.	43
5.	DISEÑO DE LA ANTENA.	44
5.1	INTRODUCCION.	44
5.2	PARÁMETROS Y REQUERIMIENTOS GENERALES.	45
5.3	MODELOS DE LAS ANTENAS REALIZADAS.	47
5.3.1	Antena integrada en baquelita (cinta de cobre).	47
5.3.2	Antena de un loop en tubo de cobre (loop simple).	48
5.3.3	Antena de dos loop en paralelo en tubo de cobre (loop cruzado).	49
5.4	MEDIDA DE LA INDUCTANCIA.	50
5.4.1	Calculo numérico.	50
5.4.2	Usando un medidor LCR a 1khz.	52
5.4.3	Usando equipo de medida de precisión.	52
5.5	CAPACITANCIA DE RESONANCIA.	53
5.6	AJUSTE DEL FACTOR DE CALIDAD (Q).	54
5.7	ACOPLAMIENTO DE ANTENA.	56
5.7.1	Acoplamiento con transformador.	56
5.7.2	Balun.	57
5.8	IMPEDANCIA DE ANTENA.	58
5.9	RELACION DE ONDA ESTACIONARIA.	62

5.10	BOSQUEJO GENERAL DEL CAMPO MAGNETICO PARA LAS ANTENAS DE LOOP CRUZADO Y LOOP SIMPLE.	63
6.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.	66
6.1	RESULTADOS OBTENIDOS EN EL ENVIO DE DATOS.	66
6.2	RESULTADOS OBTENIDOS EN LA RECEPCIÓN DE DATOS.	69
6.3	RESULTADOS OBTENIDOS PARA CADA COMANDO.	72
6.3.1	Lector conectado.	73
6.3.2	Inventario.	73
6.3.3	Estado reposo.	74
6.3.4	Lectura de bloque.	75
6.3.5	Escritura de bloque.	77
6.4	ANÁLISIS DEL RANGO DE LECTURA PARA UNA ANTENA.	78
6.5	ANALISIS DE LAS ANTENAS.	81
6.5.1	Factor de calidad y la resistencia de radiación.	82
6.5.2	Funcionamiento de las antenas.	86
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	89
7.1	CONCLUSIONES.	89
7.2	RECOMENDACIONES.	92
	BIBLIOGRAFÍA.	94
	ANEXOS.	96

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
1. Sistema de desarrollo conectado al PC.	11
2. Formato del paquete de petición que envía el PC.	17
3. Formato del paquete de respuesta que regresa el PC.	19
4. Paquete enviado a la tarjeta para el comando de Inventario.	22
5. Paquete devuelto por la tarjeta para el comando de Inventario.	23
6. Paquete enviado a la tarjeta para el comando de Estado Reposo.	23
7. Paquete enviado a la tarjeta para el comando de Lectura de Bloque.	24
8. Paquete devuelto por la tarjeta para el comando de Lectura de Bloque, cuando la bandera de error esta en alto.	25
9. Paquete devuelto por la tarjeta para el comando de Lectura de Bloque, cuando la bandera de error no esta en alto.	25
10. Paquete enviado a la tarjeta para el comando de escritura de Bloque.	25
11. Paquete devuelto por la tarjeta para el comando de Escritura de Bloque, cuando la bandera de error esta en alto.	26
12. Paquete devuelto por la tarjeta para el comando de Escritura de Bloque, cuando la bandera de error esta en alto.	26
13. Diagrama de flujo del programa del microcontrolador Motorola HC908GP32.	31
14. Fuente Regulada de tensión.	33

15	Circuito esquemático del sistema de control, Comunicación y señalización.	35
16.	Circuito esquemático del transductor de RF.	39
17.	Partición funcional del PCB.	41
18.	Antena de cinta de cobre.	47
19.	Antena de loop simple.	48
20.	Antena de loop cruzado.	49
21.	Medidor LCR FLUKEPM6303A.	52
22.	Analizador de antena MFJ-259B.	52
23.	Factor de Calidad Q.	54
24.	Modelo del Circuito RLC paralelo.	55
25.	Circuito esquemático de al antena.	56
26.	Modelo de un Balun.	57
27.	Circuito esquemático del Balun.	58
28.	Método de Lissajous para medir impedancia.	61
29.	Impedancia de antena medida con el MFJ-259B.	61
30.	Doble antena con sus líneas de flujo magnético.	63
31.	Antena loop simple con sus líneas de flujo magnético.	65
32.	Señales enviadas por el microcontrolador al Transceiver, inicio del envío.	68
33.	Señales enviadas por el microcontrolador al Transceiver, fin del envío.	68
34.	Respuesta de la tarjeta cuando no se ejecuta correctamente un comando.	70
35.	Respuesta cuando no hay tarjeta en el campo de al antena.	70
36.	Señales enviadas por el Transceiver al microcontrolador, inicio del envío.	71

37.	Señales enviadas por el Transceiver al microcontrolador, fin del envío.	71
38.	Estructura general de un paquete de datos.	72
39.	Paquete de datos enviado por el PC, comando de inventario.	73
40.	Paquete de datos recibido por el PC, comando de inventario	74
41.	Paquete de datos enviado por el PC, comando de estado Reposo.	75
42.	Paquete de datos enviado por el PC, comando Lectura de Bloque.	76
43.	Paquete de datos recibido por el PC, comando lectura de bloque	76
44.	Paquete de datos enviado por el PC, comando Escritura de Bloque.	77
45.	Respuesta para una petición de escritura, si hay error.	78
46.	Respuesta para una petición de escritura, si no hay error.	78
47.	Resistencia total del circuito cuando esta en resonancia.	82
48.	Circuito de antena LC serie.	86
49.	Analizadores lógicos TLA-700 – TEKTRONIX.	97
50.	Analizador de Antena MFJ-259B.	99
51.	S6700 Multi Protocol Transceiver IC RI-R6C-001A.	101
52.	Diagrama de bloques simplificado.	102
53.	Pines del Transceiver.	103
54.	Estructura del comando.	105
55.	Definiciones.	106
56.	Ilustra el comando de apagado del transmisor.	108
57.	Modo normal.	109
58.	Modo registro	109
59.	Escritura al registro de configuración.	110

60.	Gerencia del FIFO.	110
61.	Petición/Respuesta básica.	111
62.	Diagrama de flujo del programa realizado para el cálculo del CRC.	113
63.	Diagrama de flujo del programa de adquisición de Visual Basic.	116
64.	Modo de lector conectado	117
65.	Comando de Inventario	118
66.	Comando de Estado de Reposo	119
67.	Comando de Lectura de Bloque	120
68.	Comando de Escritura de Bloque	121
69.	Circuito esquemático del Amplificador Clase E	122
70.	Tarjeta del Lector	123
71.	Sistema de desarrollo terminado	124

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
1 Descripción de los campos contenidos en el paquete de petición.	17
2 Descripción de los campos contenidos en el paquete de respuesta.	19
3. Comandos manejados por el lector.	
4. Valor de $R_2$ para los distintos niveles de modulación.	37
5. Medidas de Inductancia.	53
6. Medidas de capacitancia	53
7. Impedancia de antena	62
8. Porcentajes de error en la tarjeta A.	79
9. Porcentajes de error en la tarjeta B.	80
10. Medidas del Factor de Calidad y Ancho de Banda.	84
11. Factor de Calidad vs. Rango de Lectura.	84
12. Lista de conexiones.	104
13. Definición del byte de Comando	107
14. Significado del los bits 4, 5 y 6.	107
15. Comandos de configuración.	107

## LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Descripción del Analizador Lógico.	96
Anexo B. Descripción del Analizador de Antena MFJ-259B.	99
Anexo C. Descripción del S6700 Multi Protocol Transceiver RI-R6C-001A.	101
Anexo D. Verificación de Redundancia Cíclica (CRC).	113
Anexo E. Descripción de al interfaz gráfica realizada en Visual Basic.	115
Anexo F. Modelo del Amplificador de Potencia Clase E	122
Anexo G. Sistema de desarrollo para un lector de tarjetas inteligentes sin contacto de alta frecuencia.	123

TITULO:

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE  
DESARROLLO PARA UN LECTOR DE TARJETAS  
INTELIGENTES SIN CONTACTO DE ALTA  
FRECUENCIA\*.**

AUTORES:

Sonia Yaneth Rosales Carreño  
Juan Carlos Chacón Correa\*\*

**PALABRAS CLAVES:** Identificación por Radiofrecuencia, Sistema de desarrollo, software y protocolo de comunicación, lector, Tag, tarjeta inteligente sin contacto, antena, impedancia de entrada, factor de calidad, relación de onda estacionaria.

## **DESCRIPCIÓN**

El sistema de identificación por radiofrecuencia (RFID) desarrollado, consiste de un dispositivo que opera a una frecuencia de 13.56MHz (Lector), capaz de transmitir y recibir datos hacia y desde una tarjeta inteligente sin contacto, a través de una antena. Cuando la tarjeta es puesta en el campo de la antena, ésta se activa y responde a la transmisión. El lector esta compuesto por un integrado transductor de radiofrecuencia, el cual se encarga de convertir los datos binarios en señal de radiofrecuencia y viceversa; y un microcontrolador Motorola, cuya función es configurar el transductor de Radiofrecuencia y organizar los paquetes de datos que se manejan, tanto con la tarjeta como con el computador personal (PC). La comunicación con el PC se hace mediante el puerto serial. La antena presenta características eléctricas importantes que se deben garantizar para alcanzar una transferencia de datos satisfactoria; dichas características son: impedancia de entrada de 50Ω, factor de calidad entre 10 y 30, relación de onda estacionaria de 1 y estar sintonizada a 13.56MHz. El sistema de desarrollo puede ejecutar 4 comandos básicos: inventario, estado reposo, lectura y escritura de bloque direccionado (lee o escribe una tarjeta particular) o no direccionado (lee o escribe cualquier tarjeta). El diseño que se entrega es dependiente del PC y permite trabajar con una antena incluida al lector o con una independiente, sin embargo el hardware de sistema esta adecuado para poder conectar LCD, teclado y memorias de tal manera que se pueda tener independencia del computador, el hardware también deja la posibilidad de conectar un amplificador de potencia para aumentar las prestaciones del funcionamiento en cuanto al rango de lectura alcanzado.

---

\* Proyecto de Grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Ingeniería Electrónica. Director Ing. Jorge Hernando Ramón Suárez.

**TITLE:** **DESIGN AND CONSTRUCTION OF A DEVELOPMENT SYSTEM FOR A SMART CARD HIGH FREQUENCY CONTACTLESS READER.**

**AUTHORS:** Sonia Yaneth Rosales Carreño  
Juan Carlos Chacón Correa\*\*

**KEY WORDS:** Radiofrequency Investigation, development system, Software and communication protocol, reader, Tag, Smart cart contactless, Antenna, input impedance, Quality Factor, Standing Wave Ratio.

## **DESCRIPTION**

The developed identification system using radiofrequency is based on a device that works at a frequency of 13.56 MHz (Reader), which is able to send and receive data to and from a contactless smart card through an antenna. When the card is within the antenna field, is activated and answers to the transmission. The reader is formed by a radiofrequency integrated transductor which converts the binary data into a radiofrequency signal and viceversa, and a Motorola microcontroller whose function is to configure the radiofrequency transductor and to organize the data packs that are managed in the smartcard and the computer (PC). The communication with the PC is done through the serial port. The antenna presents important electrical features that must be guaranteed to reach a successful data transference; those features are: entrance impedance of 50 ohm, a quality factor between 10 and 30, stationary wave relation of 1 and to be tuned at 13.56 MHz. The developing system can execute four basic commands: inventory, repose state, reading and writing of an addressed block (reads or writes a particular card) or not addressed (reads or writes any card). The design depends on the computer and lets work with an included antenna in the reader or with and independent one, however the hardware of the system is adequate to connect a LCD, keyboard and memories in a way that it can have independence from the computer, the hardware also allows the chance of connecting a power amplifier to increase the services of the performance in the reading range reached.

---

\*Thesis

\*\* Physical-Mechanic Engineering Faculty. Electric, Electronic and Telecommunications Engineering School. Conductor: Ing. Jorge Hernando Ramón Suárez.

## INTRODUCCIÓN

El proyecto tiene por finalidad el diseño y construcción de un sistema de desarrollo, para un lector de tarjetas inteligentes sin contacto de alta frecuencia. Los antecedentes y el proceso de desarrollo muestran que los avances tecnológicos involucran cada vez más procedimientos de identificación automática para suministrar información acerca de personas, animales, artículos etc.; dando cabida a los sistemas de identificación con Radiofrecuencia, llamados sistemas RFID (Radio Frequency Identification), los cuales tienen capacidad de almacenamiento y además permiten ser reprogramados.

El primer capítulo del texto realiza una breve explicación de los sistemas de identificación automática más utilizados. Esto permite conocer cómo está posicionada la identificación con RF dentro de estos sistemas y con que otros está relacionada. En forma general se expone el funcionamiento de cada uno, además de sus principales ventajas y desventajas.

En el segundo capítulo del libro, se hace una descripción general del sistema de desarrollo implementado; con el objetivo de brindar una comprensión global del sistema y mostrar de forma clara y sencilla en que consiste el proyecto. Se plasma una pequeña descripción de cada una de sus partes.

Después de tener una visión general del trabajo de grado, se inicia una explicación más específica de lo que se hizo. El tercer capítulo expone el software y el protocolo de comunicación que utiliza el lector construido para la transferencia de datos con la tarjeta y el PC, lo cual es la base para la

programación. Se explica el protocolo serial y el protocolo de transmisión, mostrando los formatos de petición y respuesta que utiliza el lector según el ISO /IEC 15693 parte 3, en forma general y particular para cada comando implementado. Se especifica los paquetes que se transmiten y reciben vía serial con el PC y los que se transmiten y reciben entre el microcontrolador y la tarjeta a través del transductor de RF **S6700 Multi Protocol Transceiver IC RI-R6C-001A**.

Se enseña y explica el diagrama de flujo del programa del microcontrolador desarrollado en lenguaje C para la comunicación con la tarjeta.

El cuarto capítulo presenta, cómo se lleva a cabo el diseño del circuito, del sistema de desarrollo que funciona como interfaz para toda la comunicación, el cual tiene tanta importancia como el desarrollo del software.

En el siguiente capítulo se detalla la antena, otro componente importante del sistema de desarrollo. Se plantean y se explican todos los parámetros que se aplicaron para el diseño de antena, con el fin de justificarlos expresando su significado y la razón por la que se escogió. Se plasman también los cálculos realizados y obtenidos.

Después de cubrirse la creación del hardware del prototipo y la implementación del protocolo de comunicación, se incluye el sexto capítulo, el cual está dedicado al análisis de resultados. Se cuentan los problemas que pueden presentarse para el envío y la recepción de datos; se ilustran ejemplos de los paquetes de datos manejados para cada uno de los comandos, manifestando si los resultados obtenidos, son los esperados según el Protocolo utilizado o no; se presentan cálculos de porcentaje de error, para los comandos de Lectura de Bloque y Escritura de Bloque a

diferentes rangos de lectura para dos tarjetas y por último se muestran los resultados obtenidos en la implementación de las antenas.

Finalmente se presentan las observaciones y conclusiones obtenidas para el proyecto, basadas en los objetivos propuestos para el sistema de desarrollo.

Adicionalmente, se encuentran los anexos, en los que se describen el analizador lógico digital, el analizador de antena MFJ-259B, el integrado transductor de RF **S6700 Multi Protocol Transceiver IC RI-R6C-001A** utilizado en la implementación del lector, la Verificación de Redundancia Cíclica (CRC), el código en C del programa realizado para la comunicación entre el lector y la tarjeta, el programa de comunicación en Visual Basic y el tipo de amplificador de potencia que se recomienda utilizar.

# 1. SISTEMAS DE IDENTIFICACIÓN AUTOMÁTICA

## 1.1 INTRODUCCIÓN

En años recientes los procedimientos de identificación automática han llegado a ser muy populares en muchos servicios de la industria. Estos sistemas existen para suministrar información acerca de personas, animales, artículos y productos de almacenamiento temporal.

El código de barras, que disparó la revolución en los sistemas de identificación años atrás, está siendo considerado inadecuado en muchos casos debido a su inexistente capacidad de almacenamiento y al hecho de que no puede ser reprogramado, aunque presenta la ventaja de tener un bajo costo.

Una solución óptima técnicamente, es el almacenamiento de datos en un chip de silicio. El dispositivo electrónico más común para portar datos, es la tarjeta inteligente basada en contacto, sin embargo el mecanismo de contacto usado, es a menudo poco práctico. El caso ideal es que la potencia requerida por el dispositivo portador de datos, sea transferida por el lector usando tecnología inalámbrica, estos procedimientos usados para la transferencia de datos y potencia en sistemas de identificación sin contacto son llamados sistemas RFID (Radio Frequency Identification).

A continuación se presenta una breve explicación de los procedimientos de identificación automática más importantes, incluyendo los sistemas RFID sobre los cuales está basado el proyecto.

## **1.2 SISTEMAS DE CÓDIGO DE BARRAS**

El código de barras, es un código binario que esta comprendido por un campo de barras e intervalos entre ellas organizados en una configuración paralela. Ellas están organizadas de acuerdo a un patrón determinado y representan elementos de datos que se refieren a un símbolo asociado.

La secuencia compuesta de barras anchas y angostas e intervalos, pueden ser interpretadas numéricamente y alfanuméricamente. Estos códigos son leídos realizando un escaneo con un láser óptico.

Pese a que son idénticos en sus diseños físicos, hay considerables diferencias entre los modelos de códigos que se usan normalmente; aproximadamente existes 10 tipos diferentes de código de barras, en la actualidad.

## **1.3 RECONOCIMIENTO ÓPTICO DE CARÁCTER (OCR)**

Tipos de letras especiales fueron desarrolladas por esta aplicación, que estilizaba caracteres, para que ellos pudieran ser leídos de manera normal por personas y automáticamente por máquinas. La ventaja más importante del OCR es la alta densidad de información y la posibilidad de interpretación de datos visualmente en una emergencia.

Hoy día el OCR es usado en producción, en campos administrativos y de servicio, también en bancos para registro de cheques; en este última aplicación lo que se hace es imprimir sobre la línea inferior del cheque un OCR para almacenar datos personales, número de cuenta, etc., del cliente.

Sin embargo, los sistemas OCR no han podido llegar a ser aplicables universalmente, por su alto precio y por la complejidad de los lectores que ellos requieren, en comparación con otros procedimientos de identificación.

#### **1.4 PROCEDIMIENTOS BIOMÉTRICOS**

La biometría esta definida como la ciencia de calcular y medir procedimientos involucrando seres vivos. En el contexto de sistemas de identificación, la biometría es el término general para todos los procedimientos que identifican personas por comparación inequívoca y características físicas individuales tales como: impresión de huellas, impresión de manos, identificación de voz y la identificación de retina.

#### **1.5 TARJETAS INTELIGENTES BASADAS EN CONTACTO**

Una tarjeta inteligente basada en contacto es un sistema de almacenamiento de datos electrónico, posiblemente con capacidad de computo adicional (Tarjeta con microprocesador), la cual por conveniencia es incorporada dentro de una tarjeta de plástico del tamaño de una tarjeta de crédito.

Las tarjetas inteligentes son colocadas en un lector, el cual hace una conexión galvánica con la superficie de contacto de la tarjeta. La tarjeta inteligente es alimentada con energía y un pulso de reloj del lector a través de la superficie de contacto. La transferencia de datos entre el lector y la tarjeta se realiza usando una interfaz serial bidireccional.

Es posible diferenciar entre dos tipos básicos de tarjetas inteligentes basados en su funcionalidad interna: tarjeta con memoria y tarjeta con microprocesador.

Una de las primeras ventajas de las tarjetas inteligentes basadas en contacto, es que los datos almacenados en ellas, pueden ser protegidos contra accesos y manipulaciones indeseadas. Y una de las principales desventajas es la vulnerabilidad de los contactos por el desgaste, la corrosión y la suciedad.

## **1.6 SISTEMAS DE IDENTIFICACIÓN POR RADIOFRECUENCIA**

### **1.6.1 Introducción**

Cada vez es más frecuente ver tarjetas de identificación sin contacto con el sistema de lectura. Este tipo de sistemas se llaman abreviadamente RFID (Radio Frequency Identification) Identificación por radiofrecuencia. Estos dispositivos están sustituyendo poco a poco a las etiquetas de códigos de barras y a las tarjetas magnéticas en todas sus aplicaciones.

Existen 2 categorías principales de los sistemas RFID en el mercado actual; sistemas de campo cercano que emplean acoplamiento inductivo de las tarjetas para responder a la energía circulante alrededor de la antena de un lector y sistemas de campo lejano que acoplan la potencia real contenida en el espacio libre, propagando ondas en el plano electromagnético. Las técnicas de acoplamiento de campo cercano son generalmente aplicadas a sistemas RFID en las bandas LF y HF con distancias de lectura relativamente cortas y las de campo lejano son normalmente aplicadas en bandas de UHF y microondas alcanzando rangos de lectura potencialmente largos.

### **1.6.2 Funcionamiento de un sistema RFID**

Todo sistema RFID se compone de un interrogador o sistema de base que lee y escribe datos en los dispositivos y un *Tag* o transmisor que responde al interrogador.

Estos sistemas están cercanamente relacionados con las tarjetas inteligentes basadas en contacto; de igual manera que ellas, los datos son almacenados en un dispositivo portador de datos electrónico, *Tag*; sin embargo a diferencia de las tarjetas con contacto, el suministro de alimentación al dispositivo portador de datos y el intercambio de datos entre este y el lector, son alcanzados sin utilizar contactos galvánicos; en su lugar se usan campos magnéticos. Los sistemas RFID como su nombre lo indica permite la transferencia de datos por ondas de radio.

### **1.6.3 Ventajas de la frecuencia usada en sistemas RFID de acoplamiento inductivo en la banda HF**

La frecuencia que se esta trabajando en la banda HF es de 13.56MHz la cual presenta varias ventajas:

- Banda de frecuencia disponible a nivel mundial como una banda ISM (Internacional Safety Managuement (code)).
- Cumple con el ISO 15693 y el ISO 14443; estandarización para interfase de aire.
- Comunicación fuerte entre lector – Tag.
- Excelente inmunidad al ruido ambiental y a interferencia eléctrica
- rata de transferencia de datos buena.
- no requiere licencias de usuario para los sistemas lectores.

- Se pueden usar estos sistemas en industrias y ambientes con alto grado de riesgo.
- Los efectos de humedad son relativamente pequeños y el campo penetra materiales densos.
- La protección que debe tener hacia efectos de objetos adyacentes y el cuerpo humano es mínima.

#### **1.6.4 Aplicaciones de los sistemas RFID en el mercado actual**

Las aplicaciones más corrientes de estos sistemas son; el control de acceso y la inmovilización de vehículos. En el control de accesos se gana en comodidad, no es necesario el contacto físico de la tarjeta con el lector, lo cual, lo hace más cómodo y más rápido de usar. Este es un sistema en el que el interrogador (el dispositivo que lee los datos) tiene que poder leer muchas tarjetas diferentes, tantas como usuarios haya.

Una aplicación muy usada y poco conocida de los sistemas RFID son los inmovilizadores de vehículos. Estos sistemas se basan en un sistema interrogador situado en el vehículo a proteger y en un identificador en la llave. El primer sistema de este tipo se empezó a usar en 1994 y era el sistema U2270B de Atmel. En este tipo de sistema un interrogador sólo da paso a una llave.

Una de las aplicaciones con más futuro son las etiquetas identificadoras; las cuales se prevé, poco a poco sustituirán en muchos casos a las típicas etiquetas de códigos de barras. Así, se pueden usar para identificar envíos de cartas o paquetes en correos o agencias de transporte; por otro lado, los chips indentificadores de animales y mascotas también son de este tipo.

Una aplicación que está a punto de ponerse en marcha es la identificación de los equipajes aéreos. Esto permitiría identificar y encauzar automáticamente los equipajes de los viajeros y evitaría muchos problemas y extravíos de equipajes que tantos problemas causa a los viajeros y a las compañías aéreas. El problema es la falta de estandarización; que todos los sistemas sean capaces de leer las mismas tarjetas. En 1998 Texas Instruments y Philips Semiconductors propusieron un estándar que la ISO ha adoptado, el ISO/IEC 15693. Este estándar internacional transmite en la frecuencia de 13.56MHz. Muchos de los nuevos circuitos integrados RFID usan ya este sistema.

Una nueva aplicación en estudio, es marcar todos los productos del supermercado con etiquetas RFID. Al salir con el carrito de la compra, de manera automática se identifican todos los productos que se han comprado y se comunica inmediatamente el precio total.

A los tags se le pueden añadir entradas lectoras del estado de sensores o de interruptores. Así se podrían usar como sensores remotos sin alimentación ni mantenimiento.

Otras aplicaciones posibles son: inventario automático, control de fabricación, identificación de mercancías, distribución automática de productos, logística, sistemas antisequestro, localización de documentos.

## 2. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA DE DESARROLLO RFID

### 2.1 ESPECIFICACIONES GENERALES

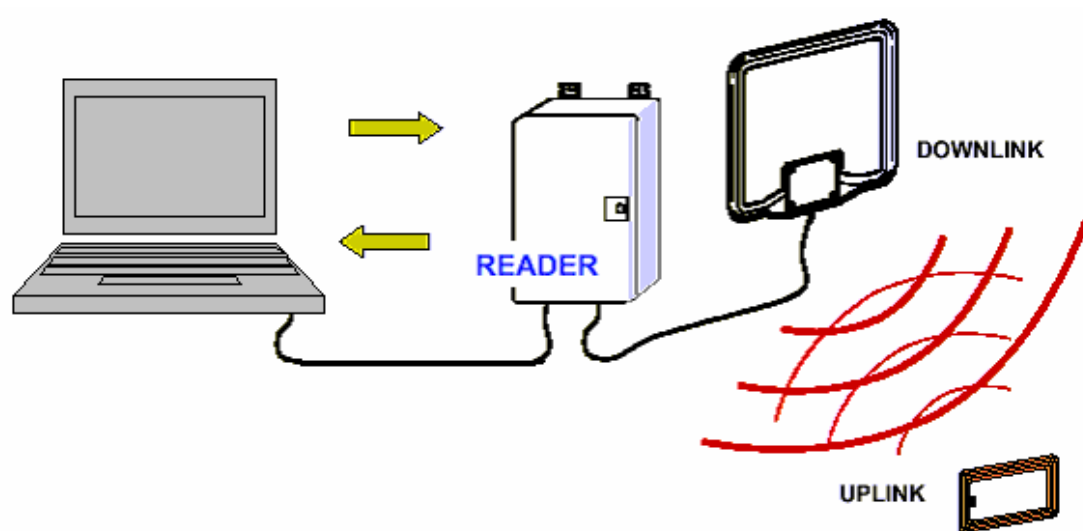


Figura 1. Sistema de Desarrollo conectado al PC.

El sistema de desarrollo opera a una frecuencia de 13.56MHz. Consta de un lector, una antena y una tarjeta inteligente sin contacto. El sistema es conectado a un Computador Personal (PC), el cual permite la manipulación del paquete de datos que se envían hacia la tarjeta y se reciben de ella, mediante una interfaz grafica realizada en Visual Basic. Este sistema de desarrollo se deja como base de investigación para poder desarrollar aplicaciones de identificación inalámbrica de una variedad de productos, animales y personas.

Para el inicio de la comunicación entre el lector y la tarjeta inalámbrica se aplica el principio “El lector habla primero”, lo cual significa que la tarjeta permanece en reposo hasta que el lector le envíe una petición.

El sistema permite escribir datos a la tarjeta y leer datos de ella en modo direccionado o no direccionado usando el número de identificación que la tarjeta trae programado por el fabricante; esta capacidad de lectura y escritura le permite al usuario actualizar los datos almacenados en la memoria según se haga necesario.

## **2.2 DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA DE DESARROLLO**

### **2.2.1 Tag**

El Tag es un dispositivo capaz de almacenar datos, que utiliza campo magnético, para la transferencia de datos con el lector.

La referencia que se escogió para el sistema de desarrollo implementado es: **13.56MHz VICINITY CARD TRANSPONDER** fabricado por Texas Instruments.

Las características que presenta esta tarjeta de vecindad y por las cuáles se eligió son:

- Cumple con el estándar ISO/IEC 15693 para circuitos integrados sin contacto.
- Opera a una frecuencia de 13.56MHz.
- Tiene una memoria de usuario de 2K bits, organizada en 64 bloques de 4 bytes cada uno.
- Cada bloque de memoria es direccionable e individualmente, puede ejecutar operaciones de Lectura / escritura.
- Soporta un amplio conjunto de opciones de comando, ofreciendo de esta manera una mayor flexibilidad al sistema.
- Permite identificación simultánea.

- Cada bloque puede ser asegurado (Escritura inalterable) por el usuario o por el fabricante.
- Utiliza tecnología E<sup>2</sup>EPROM que permite realizar 100.000 operaciones de escritura y retener los datos almacenados por más de 10 años.
- Puede ser utilizada en gran variedad de mercados, tales como: control de acceso, seguridad, expedición de boletos, transporte público, control de producción, manejo de bodegas etc.
- Puede ser hecha a la medida y personalizada debido a que el empaquetado de la tarjeta permite imprimirse.

Sin embargo es importante anotar que se puede utilizar tarjetas de cualquier fabricante, la única condición que requiere es, que ésta, maneje los mismos protocolos de comunicación del lector.

### **2.2.2 Antena**

La antena es el dispositivo por medio del cual se lee o escribe la tarjeta de vecindad utilizando ondas de radio.

Algunos sistemas utilizan antenas construidas de manera independiente al lector, pero existen otros que integran la antena y el lector en el mismo circuito. Las antenas pueden ser encontradas en diferentes formas y tamaños dependiendo de las especificaciones requeridas para una aplicación determinada.

Las especificaciones que debe cumplir la antena del sistema desarrollo construido, para lograr una transferencia de datos satisfactoria, son:

- Impedancia de entrada de 50 ohmios
- Frecuencia de operación a 13.56MHz

Mas adelante en el capítulo 5 se explica de manera más detallada, las consideraciones para el diseño de antena.

### **2.2.3 Lector**

El Lector esta compuesto por dos partes funcionales que son: un Microcontrolador y un integrado transductor de Radiofrecuencia. El microcontrolador establece la comunicación con el Transductor de RF y éste, se encarga de convertir, una señal digital en una señal de Radiofrecuencia, para la transmisión y viceversa para la recepción. A continuación se presentan estas dos partes funcionales.

#### **2.2.3.1 Microcontrolador**

El sistema de desarrollo utiliza un microcontrolador Motorola HC908GP32 el cual es el encargado de manejar la comunicación entre la tarjeta inteligente sin contacto y el PC.

La principal característica por la cual fue escogido el microcontrolador Motorola MC68HC908GP32, es por su versatilidad de manejo, al poder utilizar una herramienta de programación como lo es CodeWarrior; este es un software de programación que permite programar microcontroladores en lenguaje de mediano nivel, más específicamente en lenguaje C, y traducirlo al lenguaje ensamblador; ofreciendo de esta manera un incremento en la productividad del desarrollo de software.

#### **2.2.3.2 S6700 Multi Protocol Transceiver IC RI-R6C-001A**

El S6700 Multi Protocol Transceiver IC es un dispositivo transductor de Radiofrecuencia (RF) que suministra funciones de recepción/ transmisión

requeridas para comunicarse con una variedad de Tags que operan en la banda de 13.56MHz. Se escogió este Transceiver porque maneja 4 protocolos de comunicación, incluyendo el ISO/IEC 15693 que esta estandarizado para el desarrollo de Sistemas RFID; además presenta bastante información acerca de su funcionamiento. El anexo C hace una descripción mas completa de este integrado.

#### **2.2.4 Computador Personal**

En el sistema de desarrollo construido, el PC es la primera y última estación del paquete de datos. Es mediante este dispositivo que se organizan los datos que se envían al lector y se visualiza lo que devuelve la tarjeta. Teniendo los datos en el computador se puede ejercer cualquier manipulación sobre estos, dependiendo de la aplicación que se quiera realizar.

Para lograr un manejo más sencillo de los paquetes de datos transmitidos y recibidos PC – Lector, Lector – PC respectivamente, se realizó una interfaz gráfica en Visual Basic (Anexo F)

### 3. SOFTWARE Y PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN

#### 3.1 INTRODUCCIÓN

Para desarrollar el programa del microcontrolador que permite la comunicación entre el lector y la tarjeta, es necesario conocer el protocolo de comunicación escogido, y los comandos de configuración del integrado transductor de RF (Anexo C). Por esta razón, en este capítulo, se presenta cómo se aplica el protocolo escogido ISO/IEC 15693-3, para organizar los paquetes de datos y cual protocolo se utiliza para la comunicación con el PC. Se ilustran por separado los paquetes que se envían o reciben hacia y desde la tarjeta y los que se transfieren entre el lector y el PC.

#### 3.2 PROTOCOLO SERIAL

La transferencia de datos entre el lector y el PC se hace por comunicación serial. El lector acepta y envía datos a niveles RS232, con una velocidad de 19200 bits/s, 8 bits de datos, 1 bit de parada, sin paridad.

En esta comunicación el PC es el *“Maestro”* y el lector es el *“Esclavo”*; el paquete de datos enviado por el PC al lector se conoce como Petición y el paquete de datos enviado por el Lector al PC se conoce como Respuesta. El *“Maestro”* es siempre la primera estación e inicializa toda secuencia de comunicación.

La organización de los paquetes de Petición/Respuesta está realizada por campos; en todos los campos se ubica el byte menos significativo primero, para facilitar el envío y la recepción de datos hacia y desde la tarjeta, debido a que el protocolo envía, de cada campo el byte menos significativo y de cada byte el bit menos significativo, excepto, el campo del byte de

configuración, este si se envía de acuerdo a la guía de referencia del integrado Transductor de RF.

### 3.2.1 Formato del paquete de petición PC – Lector

El paquete de petición consiste de: encabezado; longitud del paquete de datos; 0-17 bytes de comandos/datos ISO/IEC 15693-3, donde el **byte 0** es el byte de configuración del Transceiver (enviados a la tarjeta) y dos bytes de verificación.

Encabezado del paquete	Longitud del paquete		Comandos/Datos según el ISO 15693-3 sin CRC		Verificación BCC del paquete	
			Byte de Configuración	Datos	LRC	LRC'
'01hex'	LSB	MSB	Byte 0	Bytes 1-17	2 Bytes	
1 Byte	2 Bytes		1 Byte	17 Bytes		

Figura 2. Formato del paquete de petición que envía el PC.

Campo	Longitud	Descripción
Encabezado del paquete	1 Byte	Define el inicio del paquete.
Longitud del paquete	2 Bytes	Define la longitud del paquete incluyendo la verificación BCC del paquete de datos.
Comandos/Datos según el ISO 15693-3	0-17 Bytes	Define los datos requeridos por la tarjeta para ejecutar un comando, sin incluir CRC.
Verificación BCC del paquete	2 Bytes	El byte 1(MSB) es una suma XOR de todos los elementos desde el encabezado hasta el último byte (LRC). El byte 2 (LSB) es el complemento A1 del byte 1(LRC').

Tabla 1. Descripción de los campos contenidos en el paquete de Petición.

Nombre del campo:	Encabezado del paquete.
Propósito:	Permite identificar el inicio de los paquetes de datos.
Nombre del campo:	Longitud del paquete
Propósito:	Define el tamaño de los paquetes de datos, lo cual permite enviar tramas de datos de longitud variable, ya que este campo indica al microcontrolador cuando debe detener la recepción de datos. El tamaño del campo es de 2 bytes pensando en futuras expansiones del sistema, ya que se pueden implementar otros comandos que manejan paquetes de datos más grandes.
Nombre del campo:	Comandos/Datos según el ISO/IEC 15693-3.
Propósito:	Este campo contiene los parámetros y los datos que se van a enviar a la tarjeta según el comando. El tamaño de este campo, para el sistema de desarrollo implementado varía entre 0-17 bytes pero este campo puede ser mas grande, depende de nuevos comandos que se quieran implementar. Los bytes de la Verificación de Redundancia Cíclica (CRC) no se incluyen, estos se adicionan en el software cuando se transfiere los datos a la tarjeta.
Nombre del campo:	BCC (Block Check Character)
Propósito:	Le permite al lector verificar el paquete de datos enviados por el PC y filtrar de esta manera errores que puedan cometerse en la comunicación serial.

### **3.2.2 Formato del paquete de respuesta Lector – PC**

Similar al paquete de petición, el paquete de respuesta consta de: encabezado, longitud del paquete, 0-11 bytes de comandos/datos ISO/IEC 15693-3 (devueltos por la tarjeta) y los dos bytes de verificación.

Encabezado del paquete	Longitud del Paquete		Comandos/Datos según el ISO 15693-3 sin CRC	Verificación BCC del paquete	
			<b>Data</b>		
' 01hex '	LSB	MSB	<b>Bytes 0 – 11</b>	LRC	LRC'
1 Byte	2 Bytes		12 Bytes	2 Bytes	

Figura 3. Formato del paquete de respuesta que regresa el microcontrolador.

Campo	Longitud	Descripción
Encabezado del paquete	1 Byte	Define el inicio del paquete.
Longitud del paquete	2 Bytes	Define la longitud del paquete incluyendo la verificación BCC del paquete de datos.
Comandos/Datos según el ISO 15693-3	0-11Bytes	Define los datos retornados por el lector en respuesta a un comando, sin incluir el CRC. Estos datos son devueltos por la tarjeta.
Verificación BCC del paquete	2 Bytes	El byte 1(MSB) es una suma XOR de todos los elementos desde el encabezado hasta el último byte (LRC). El byte 2 (LSB) es el complemento a1 del byte 1(LRC').

Tabla 2. Descripción de los campos contenidos en el paquete de Respuesta.

Nombre del campo: Encabezado del paquete.  
Propósito: Permite identificar el inicio de los paquetes de datos.

Nombre del campo: Longitud del paquete  
Propósito: Define el tamaño de los paquetes de datos devueltos por el lector, además le permite al microcontrolador controlar el envío de la trama de datos al PC

Nombre del campo: Comandos/Datos según el ISO 15693-3.  
Propósito: Este campo contiene las banderas de respuesta y los datos devueltos por la tarjeta según el comando enviado. El tamaño para el sistema de desarrollo implementado varía entre 0-11 bytes

pero este campo puede ser mas grande, depende de nuevos comandos que se quieran implementar. Nuevamente no se incluye el CRC se elimina por software.

Nombre del campo: BCC (Block Check Character)  
Propósito: Le permite al PC verificar el paquete de datos enviados por el lector y filtrar de esta manera errores que puedan cometerse en la comunicación serial.

### 3.3 PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN

El protocolo usado para programar la comunicación entre la tarjeta y el lector es el ISO/IEC 15693. Se trabaja con este protocolo por dos razones, la primera porque esta dentro de los que puede manejar, tanto el Integrado transductor de RF *S6700 Multi Protocol Transceiver IC RI-R6C-001A* como la tarjeta de vecindad escogida por ser el tag que más rango de lectura ofrece. La segunda porque este protocolo esta estandarizado para trabajar sistemas RFID a la frecuencia de 13.56MHz, lo cual hace que el sistema no sea dependiente de un solo fabricante.

El protocolo ISO/IEC 15693 consta de 4 partes, las cuales hacen referencia a:

Parte 1: Características físicas que presenta una tarjeta inalámbrica.

Parte 2: Interfaz aérea y a la inicialización de las tarjetas.

Parte 3: Protocolo de anticolisión y transmisión,

Parte 4: Comandos extendidos y características de seguridad.

Cada uno de los comandos y paquetes de petición / respuesta, descritos en este capítulo están contenidos dentro del protocolo ISO 15693-3:2000,10.3.

Los comandos ISO que se implementan en el sistema de desarrollo son mostrados en la siguiente tabla:

<b>Comando</b>	<b>código</b>
Inventario (comando obligatorio)	01 <sub>hex</sub>
Estado reposo (comando obligatorio)	02 <sub>hex</sub>
Lectura de un bloque (comando opcional)	20 <sub>hex</sub>
Escritura de un bloque (comando opcional)	21 <sub>hex</sub>

Tabla 3. Comandos manejados por el Lector.

Como se observa, la tabla menciona dos comandos obligatorios y dos comandos opcionales; los comandos obligatorios como su nombre lo indica, se deben implementar en el desarrollo de cualquier lector y los opcionales son los comandos adicionales que puede manejar el tag y de los cuales se puede elegir cuales se implementan. Es importante anotar que la tarjeta puede soportar más comandos opcionales.

### **3.3.1 Formatos de los paquetes Petición/ Respuesta para los comandos que maneja el lector según el ISO/IEC 15693**

Como ya se mencionó antes, los paquetes de petición y repuesta que se envían desde y hacia el PC no incluyen los dos bytes de Verificación de Redundancia Cíclica (CRC), que se mandan y reciben en los paquetes hacia y desde la tarjeta, lo mismo sucede con el inicio (SOF) y el fin de marco (EOF). La CRC, el SOF y el EOF solo se incluyen en los paquetes enviados y recibidos hacia y desde la tarjeta.

Para todos los comandos primero se coloca la gráfica 2 o 3 dependiendo si es una petición o una respuesta; lo que se busca es especificar el paquete completo de datos que transfiere con el PC y luego si particularizar los bytes que se envían o reciben de la tarjeta.

### 3.3.1.1 Comandos obligatorios

#### 3.3.1.1.1 Inventario

- **Inventario: Código de comando 01<sub>hex</sub>**

Este comando lee el Número de Identificación (**UID**) que trae la tarjeta de fábrica. Se utiliza para realizar una lectura o escritura direccionada y el comando de Estado Reposo. Este comando es de carácter obligatorio.

El Número de Identificación tiene un tamaño de 8 bytes, como lo muestra el campo ilustrado en la figura 3.3.

Encabezado del paquete	Longitud del paquete		Comandos/Datos según el ISO 15693-3 sin CRC		Verificación BCC del paquete	
'01hex'	LSB	MSB	Byte configuración	Data	LRC	LRC'
1 Byte	2 Bytes		Byte 0	Bytes 1-17	2 Bytes	

SOF	Banderas	Comando Inventario	AFI Opcional	CRC	EOF
	1 Byte	'01 hex'	1 Byte	2 bytes	

Figura 4. Paquete enviado a la tarjeta (campo: **Data**) para el comando de Inventario.

Encabezado del paquete	Longitud del paquete		Comandos/Datos según el ISO 15693-3	Verificación BCC del paquete	
'01hex'	LSB	MSB	Data Bytes 0 – 11	LRC	LRC'
1 Byte	2 Bytes		12 Bytes	2 Bytes	

SOF	Banderas de Datos válidos	Banderas de colisión	Respuesta al Comando Inventario	CRC	EOF
	2 Bytes	2 Bytes	10 Bytes	2 Bytes	

Figura 5. Paquete devuelto por la tarjeta (campo: **Data**) para el comando de Inventario.

### 3.3.1.1.2 Estado Reposo

- **Estado Reposo: Código de comando 02<sub>hex</sub>**

Bajo la recepción del comando Estado Reposo la tarjeta, no inicia una respuesta, por lo tanto este comando no tiene respuesta y solo se ejecuta en modo direccionado. Las banderas de selección y de dirección son fijadas a cero y uno respectivamente; de esta manera la tarjeta no procesara cualquier respuesta con la bandera de inventario fijado y sin estar direccionada. En el campo del UID se envía el byte menos significativo primero.

La tarjeta saldrá del estado reposo cuando haya un reset. Un reset se presenta cada vez que la tarjeta sale del campo.

Encabezado del paquete	Longitud del paquete		Comandos/Datos según el ISO 15693-3 sin CRC		Verificación BCC del paquete	
	LSB	MSB	Byte configuración	<b>Data</b>	LRC	LRC'
'01hex'						
1 Byte	2 Bytes		Byte 0	Bytes 1-17	2 Bytes	

SOF	banderas	Comando Estado Reposo	UID	CRC	EOF
	1 Byte	'02 hex'	8 Bytes	2 Bytes	

Figura 6. Paquete enviado a la tarjeta (campo: **Data**) para el comando de Estado Reposo.

### 3.3.1.2 Comandos Opcionales

#### 3.3.1.2.1 Lectura de Bloque

- **Lectura de Bloque: Código de comando 20<sub>hex</sub>**

La lectura de una tarjeta se puede realizar en forma direccionada o no direccionada. Si se hace de manera direccionada el paquete debe enviar el número de identificación de la tarjeta (UID); de lo contrario este campo no se envía en el paquete.

El tamaño del campo de datos es de 4 bytes y el valor esta en código hexadecimal. El campo número de bloque, es el que indica que bloque de memoria de la tarjeta se va a leer.

Encabezado del paquete	Longitud del paquete		Comandos/Datos según el ISO 15693-3 sin CRC		Verificación BCC del paquete	
'01hex'	LSB	MSB	Byte configuración	Data	LRC	LRC'
1 Byte	2 Bytes		Byte 0	1-17 Bytes	2 Bytes	

SOF	Banderas	Comando de Lectura de un bloque	UID	Número Del bloque	CRC	EOF
	1 Byte	'20 hex.'	8 Bytes	1 Byte	2 Byte	

Figura 7. Paquete enviado a la tarjeta (campo: Data) para el comando de Lectura de Bloque.

Encabezado del paquete	Longitud del paquete		Comandos/Datos según el ISO 15693-3		Verificación BCC del paquete	
			Data			
'01hex'	LSB	MSB	Bytes 0 – 11		LRC	LRC'
1 Byte	2 Bytes		12 Bytes		2 Bytes	

SOF	Banderas	Código de error	CRC	EOF
	1 Byte	1 Byte	2 Bytes	

Figura 8. Paquete devuelto por la tarjeta (campo: **Data**) para el comando de Lectura de Bloque, cuando la bandera de error está en alto.

SOF	Banderas	Datos	CRC	EOF
	1 Byte	4 Bytes	2 Bytes	

Figura 9. Paquete devuelto por la tarjeta (campo: **Data**) para el comando de Lectura de Bloque, cuando la bandera de error no está en alto.

### 3.3.1.2.2 Escritura de Bloque

- **Escritura de Bloque: Código de comando 21<sub>hex</sub>**

El comando de escritura, igual que el de lectura, se puede realizar de manera direccionada o no direccionada. Si se hace en forma direccionada, el paquete debe enviar el número de identificación de la tarjeta (UID) de lo contrario no es necesario enviar este campo. La tarjeta permite escribir bloques de memoria de 4 bytes, con datos en hexadecimal.

Encabezado del paquete	Longitud del paquete		Comandos/Datos según el ISO 15693-3 sin CRC		Verificación BCC del paquete	
	LSB	MSB	Byte configuración	<b>Data</b>	LRC	LRC'
'01hex'	2 Bytes		Byte 0	1-17 Bytes	2 Bytes	

SOF	Banderas	Comando	UID	Número del Bloque	Datos	CRC	EOF
	1 Byte	'21 hex.'	8 Bytes	1 byte	4 bytes	2 Bytes	

Figura 10. Paquete enviado a la tarjeta (campo: **Data**) para un comando de Escritura de Bloque.

Encabezado del paquete	Longitud del paquete		Comandos/Datos según el ISO 15693-3	Verificación BCC del paquete	
			Data		
' 01hex '	LSB	MSB	Bytes 0 – 11	LRC	LRC'
1 Byte	2 Bytes		12 Bytes	2 Bytes	

SOF	Bandera	Código de error	CRC	EOF
	1 Byte	1 Byte	2 Bytes	

Figura 11. Paquete devuelto por la tarjeta (campo: **Data**) para un comando de escritura de Bloque, cuando la bandera de error está en alto.

SOF	Banderas	CRC	EOF
	1 Byte	2 Bytes	

Figura 12. Paquete devuelto por la tarjeta (campo: **Data**) para un comando de escritura de Bloque, cuando la bandera de error no está en alto.

### 3.4 SOFTWARE DE COMUNICACIÓN

#### 3.4.1 Programa del microcontrolador Motorola HC908GP32

El programa fue realizado en lenguaje C utilizando el Entorno de Desarrollo Integrado Codewarrior, el cual es una herramienta fácil de usar, que mejora el rendimiento en el desarrollo del software.

El programa contiene 16 funciones y una función de atención a interrupción. Se implementaron varias funciones, porque después de estudiar la forma como se debía ejecutar cada comando, se observó que el procedimiento era

similar para todos los comandos, excepto para el comando de Escritura de Bloque, lo cual implica que hay que repetir rutinas; el trabajo con funciones garantiza que el código escrito en una función se ejecute; cuando no se hace esto y se repite código en el programa, el compilador de Codewarrior lo optimiza, razón por la cual, pueden presentarse errores en la ejecución del programa.

Las funciones de inicio y fin de marco, son las que indican al Transceiver cuando empieza y finaliza el envío de datos. La función de enviar dato permite, desagregar cada byte del paquete a enviar, en bits, para guardarlo en un vector, que luego con la función de fijar dato, se envía junto con la señal de reloj, para habilitar cada dato. La función de atención a interrupción permite la captura de los datos devueltos por la tarjeta, cada vez que ocurre un flanco de subida en la señal de reloj. Dentro de las 16 funciones hay cuatro de esperas, que se insertan dentro del programa para sincronización de tiempos.

El puerto B maneja todos los pines que están relacionados con el Transceiver: SCLOCK: señal bidireccional, DIN: salida de datos del microcontrolador y entrada para el Transceiver, DOUT: entrada de datos para el microcontrolador y salida para el Transceiver, M\_ERR: salida del Transceiver que indica cuando finalizo el envío de datos y si hay errores en la recepción de la tarjeta. El puerto A controla los indicadores visuales y sonoros del dispositivo y el puerto C hace el control de la compuerta NOT de tres estados, utilizada para invertir la señal de reloj que entra al pin de interrupción externa IRQ.

### **Descripción del programa:**

Cada vez que se envía un comando de inventario, estado reposo, lectura de bloque o escritura de bloque, el microcontrolador realiza un reconocimiento del lector, para saber si está o no conectado. Luego recibe el paquete de datos enviado por el PC en código ASCII, realiza la conversión a código hexadecimal, haciendo primero la conversión del segundo y tercer byte, los cuales como se observa en los formatos de petición; descritos anteriormente, definen la longitud del paquete de datos; de esta manera se actualiza el contador y se permite la recepción de paquetes de datos de longitud variable; terminada esta interrupción se continúa adquiriendo datos hasta el nuevo valor del contador.

Terminado esto se realiza la verificación BCC (Block Check Character) del conjunto de datos recibido, para identificar si ocurrió algún error en la comunicación serial. La BCC consiste en realizar una suma XOR del paquete de datos y un complemento de dicha suma para luego adicionar estos dos bytes al final, de tal forma que el receptor de los datos realice la verificación, haciendo la misma suma XOR del paquete, junto con su complemento; esto sin incluir los dos bytes adicionados, para luego comparar y así comprobar si la recepción fue satisfactoria.

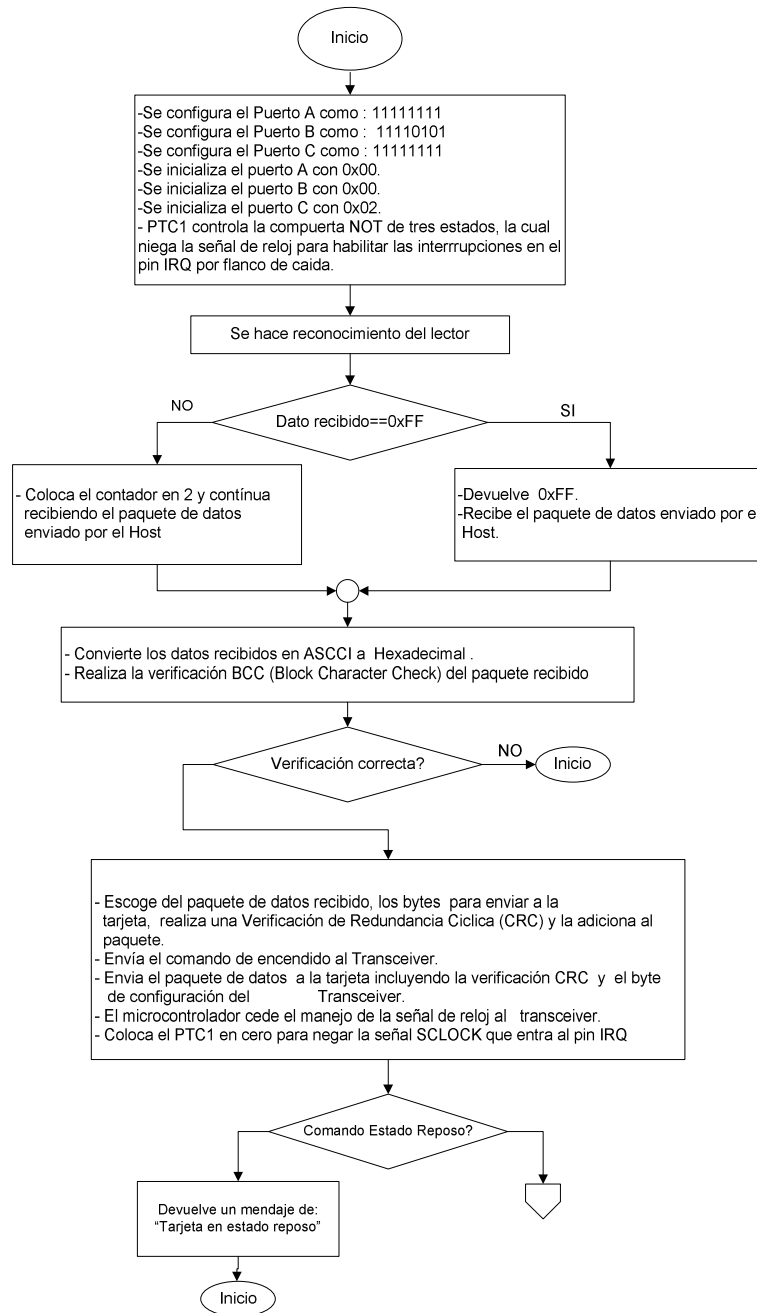
Después de revisar la comunicación serial se envía al Transceiver, el comando de encendido, el byte de configuración del Transceiver, el paquete de bytes con los datos y parámetros necesarios para enviar a la tarjeta, incluyendo los dos bytes de Verificación de Redundancia Cíclica (Anexo D), como se ilustra, en los formatos de petición.

La señal de reloj es bidireccional, por esto mientras el microcontrolador envía la petición este maneja la línea de reloj y cuando espera por una respuesta le cede el control al Transceiver. La captura de los datos, se realiza por el

pin de interrupción externa IRQ, cada vez que hay un flanco de subida de la señal de reloj y los almacena en un vector. Culminado el recibimiento de datos de la tarjeta, nuevamente el microcontrolador retoma el control de la línea SCLOCK, divide el vector de datos en bytes, calcula CRC para verificar si la recepción es correcta, luego organiza un paquete de respuesta, lo convierte a código ASCII para enviarlo al PC y finalmente vuelve a esperar por un comando.

Para el comando de Escritura de Bloque la programación es igual hasta cuando se llega a la recepción de datos, después de esto, toma otro camino, debido a que, para este comando, no se obtiene respuesta de la tarjeta, por lo que no se puede saber si se realizó o no, el comando de escritura; para comprobar la escritura, envía a leer el bloque escrito y compara los datos; dependiendo del resultado, se envía al PC la respuesta que propone el protocolo, para una escritura correcta o incorrecta.

En la siguiente página se encuentra la figura 3.12 correspondiente al diagrama de flujo del programa del Microcontrolador Motorola GC908GP32 y en el anexo E se encuentra el código en C del programa, desarrollado para la comunicación entre el PC, el lector, y la tarjeta.



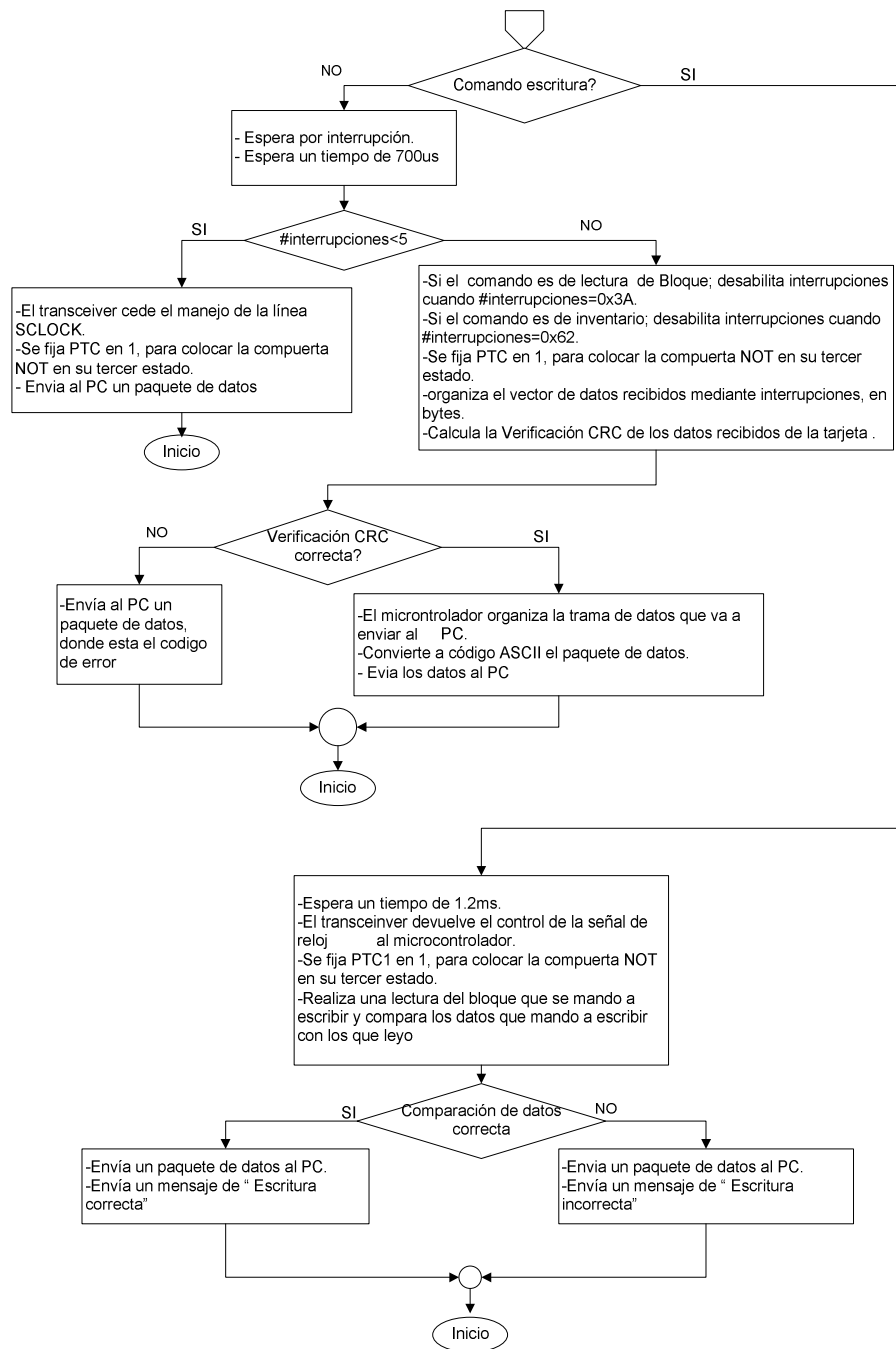


Figura 13. Diagrama de flujo del programa del Microcontrolador Motorola HC908GP32

## **4. DISEÑO DEL PROTOTIPO LECTOR**

### **4.1 INTRODUCCIÓN**

En el diseño y construcción de sistemas que procesan datos se hace indispensable la creación de una etapa que se encargue de transferir esta información desde el dispositivo que lo genera hacia el sistema que la analiza y la procesa. El sistema de desarrollo del lector de tarjetas sin contacto no es la excepción, por esa razón el primer paso para su construcción consiste en el montaje de una interfaz que configure el Transceiver RI-R6C-001A (Transductor de RF), obtenga la correspondiente información y establezca el protocolo de comunicación, no solo entre éste y la tarjeta sin contacto, sino también entre este y el computador.

### **4.2 DISEÑO DEL CIRCUITO ESQUEMATICO DEL SISTEMA DE DESARROLLO**

El circuito del sistema de desarrollo esta compuesto por tres bloques funcionales básicos: fuente de alimentación; control, comunicación y señalización y el bloque transductor de Radio frecuencia.

Cada bloque funcional fue implementado para que el lector fuera de propósito general, con la posibilidad de ser aprovechado en cualquier desarrollo o aplicación con la que se quiera trabajar.

Con esto se le da dinamismo al sistema, logrando que sea parte de un sistema más complejo como por ejemplo una red de lectores o como parte de un sistema de control superior. Esto hace que sea fácilmente adaptable sin necesidad de cambios radicales en el hardware.

### 4.2.1 Fuente de alimentación

El primer bloque es una fuente de alimentación que le suministra al circuito una tensión estable de 5V.

Esta compuesto por un rectificador integrado y un regulador de voltaje LM340.

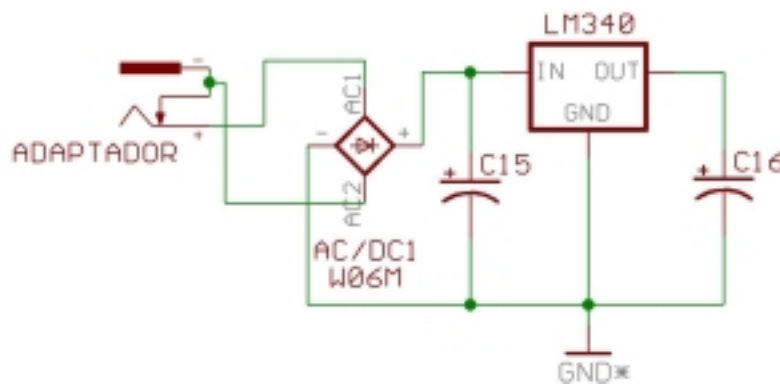


Figura 14. Fuente regulada de tensión.

### 4.2.2 Circuito de control, comunicación y señalización.

El segundo bloque esta compuesto por (figura 15): un microcontrolador (MC68HC908GP32), un circuito integrado para la comunicación serial (MAX232) y un circuito integrado que contiene un arreglo de transistores BJT (LM3086), que se utilizan para la activación de los leds y el zumbador en la señalización luminosa y sonora.

Estos puertos libres del microcontrolador se pueden utilizar, por ejemplo para conectar memorias independientes, para que almacenen los grandes paquetes de datos que se manejan cuando se utilizan los algoritmos de anticollisión o la lectura de múltiples bloques de la memoria de los tag (64 bloques de 4 bytes como máximo para el tag utilizado en el prototipo) o

cuando se quiere adaptar el sistema para que sea un modulo lector portátil que funcione totalmente independiente de un computador.

Los puertos que quedan disponibles y que fueron conectados a una serie de jumpers (JP3) son: PTC2,3,4; PTA0,1,2,3,4; PTD0,1,2,3,4,5.

El circuito integrado para la comunicación serial, se encarga de la conversión de los niveles de tensión en las señales de comunicación. Este los convierte niveles TTL a RS-232 o viceversa.

En el segundo bloque funcional fue dotado de un circuito básico de señalización, el cual tiene indicadores luminosos y sonoros, los cuales permiten verificar si la operación del comando que fue enviado desde el computador, fue atendido (leer o escribir los tag).

Para que no se tenga que exigir una corriente significativa a los puertos de salida del microcontrolador, se coloca un transistor BJT para cada indicador de señalización. En el caso del zumbador, esta consideración es crítica, dado que el nivel de corriente que consume es superior al de un led. Si no se hace de esta manera y se conecta directamente estos elementos a los puertos de microcontrolador, puede sufrir desgaste y deterioro innecesario para este último.

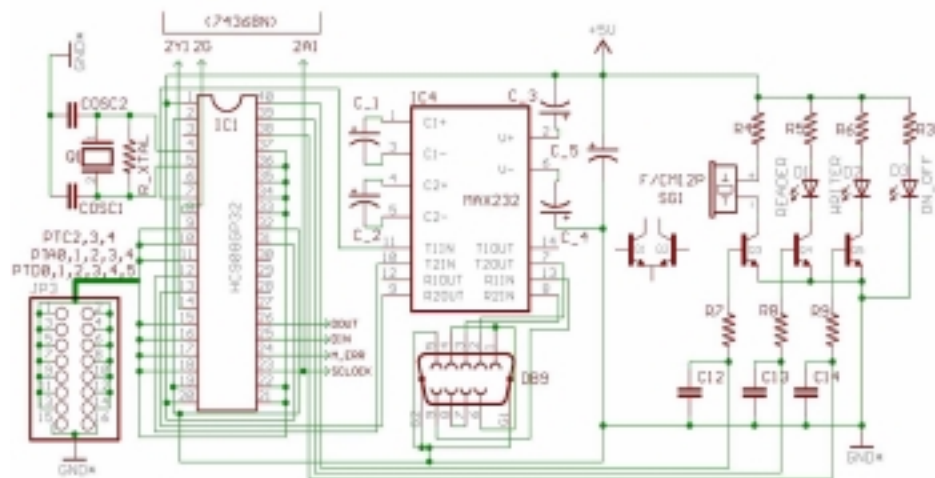


Figura 15. Circuito esquemático del sistema de control, comunicación y señalización

### 4.2.3 Circuito transductor de Radiofrecuencia

El transductor de radio frecuencia es el encargado de modular las señales digitales y funciona como receptor y transmisor para la antena que esta conectada.

Aunque al circuito básico sobre el cual se trabajo, no se le hicieron grandes cambios, si se necesito adicionar o modificar elementos, de tal manera que se tenga un manejo seguro de los datos en la comunicación con el microcontrolador y también para llevar a cabo la implementación de un amplificador de potencia que será recomendado como una mejora para futuros proyectos y el cual será explicado brevemente en el Anexo G.

Debido a la forma en que esta implementado el algoritmo de comunicación entre el Transceiver y el microcontrolador, es necesario tomar la señal de reloj (cuando el Transceiver tiene el control de la línea SCLOCK) a través del pin IRQ del microcontrolador. Lo particular en la función de este pin, es que activa la interrupción por flancos de caída (un alto-bajo en el nivel de tensión). Para acomodar la señal de reloj, según esta configurado el Transceiver y se lograra capturar el dato que esta llegando al microcontrolador, se coloco una compuerta lógica NOT de tercer estado (74368N).

El tipo particular de compuerta lógica NOT, se debe a que, solo debe irse señal de reloj cuando el Transceiver tiene el control de la línea. De no hacer esto, y colocar una compuerta NOT normal (74LS04), se presenta problemas de carga en esa línea y hay una de-sincronización, la cual trae como consecuencia errores y falta de comunicación entre los dispositivos.

El transductor de radiofrecuencia puede modificar el índice de modulación con el que trabaja al cambiar el valor del resistor R2 (figura 16); El índice de modulación se puede variar entre el 10% y el 30%. Junto a este resistor se

dejo un espacio adicional para otra resistencia, de tal manera que si se desea hacer un arreglo de resistores y un valor exacto resistencia para cada porcentaje se pueda hacer.

Los valores para el resistor R2 se muestran en la tabla 4.1:

Modulación %	Valor del Resistor R2( $\Omega$ )	Comentarios
10	12	Modulación minima
20	18	Modulación Recomendada
30	25	Modulación maxima

Tabla 4. Valor del R2 para los distintos niveles de modulación.

Uno de los pines del transductor de RF (RI-R6C-001A, pin 8), suministra una señal estable de la señal del oscilador (cristal o circuito oscilador) que este conectado, para el caso particular de este prototipo, es un cristal de 13.56 MHz. Para aprovechar esta línea de señal de alguna forma, se acondiciono un jumper en el circuito impreso (JP2). Esta salida puede ser utilizada con propósito de sincronización con otros dispositivos que se conecten con el sistema.

Ya que el nivel de potencia RF entregada por el Transceiver es pequeño (200mW), se propone otro cambio que se puede hacer en el circuito para mejorar las prestaciones de desempeño y funcionamiento. Este es acoplar un amplificador de potencia en la salida de la señal modulada. Para esto se diseño y acondiciono el circuito impreso en función de colocar este amplificador de potencia. Al tener mayor potencia en la transmisión, se debe tener cuidado con el nivel de potencia en las líneas de recepción. Para controlar este mayor nivel de potencia, se hace necesario cambiar el valor del resistor R1 (figura 16), para que mantenga un nivel de corriente o tensión

que este de acuerdo con el nivel de sensibilidad y tolerancia, en la recepción de señal del transductor.

También aquí se dejó un lugar adicional para conectar una resistencia variable ( $R1^{**}$ ) de tal manera que cuando se conecte el amplificador, pueda ser ajustada y mantenga el nivel de señal (corriente o tensión) que ingresa al transductor.

El incremento en el nivel de potencia de salida tendrá como consecuencia, el incremento de las características físicas de los elementos que rodean el sistema transmisor y es por ello que se tiene la posibilidad de cambiar los inductores de montaje superficial por otros que resistan niveles de corriente y tensiones superiores. Pensando también en que estos inductores pueden ser de características físicas diferentes, se dejaron pads adicionales a cada lado de los inductores de montaje superficial, para que llegado el caso, se ensamblen.

Otra característica importante en el diseño del lector, es la capacidad de funcionar con diferentes tipos de antenas.

Para esto se colocó un interruptor de dos estados, el cual permite conmutar la conexión de antena, entre la que está integrada junto al lector y una antena independiente que se une al circuito a través de un conector coaxial hembra (SMA), según se quiera.

Cuando se hace referencia a la antena integrada junto al lector, no significa que esté implementada en el mismo circuito impreso para este prototipo, aunque es posible diseñar un lector completo, integrado en un solo circuito impreso. En este capítulo solo se hace mención al lector y las antenas que se diseñaron serán explicadas en detalle en el capítulo 5.

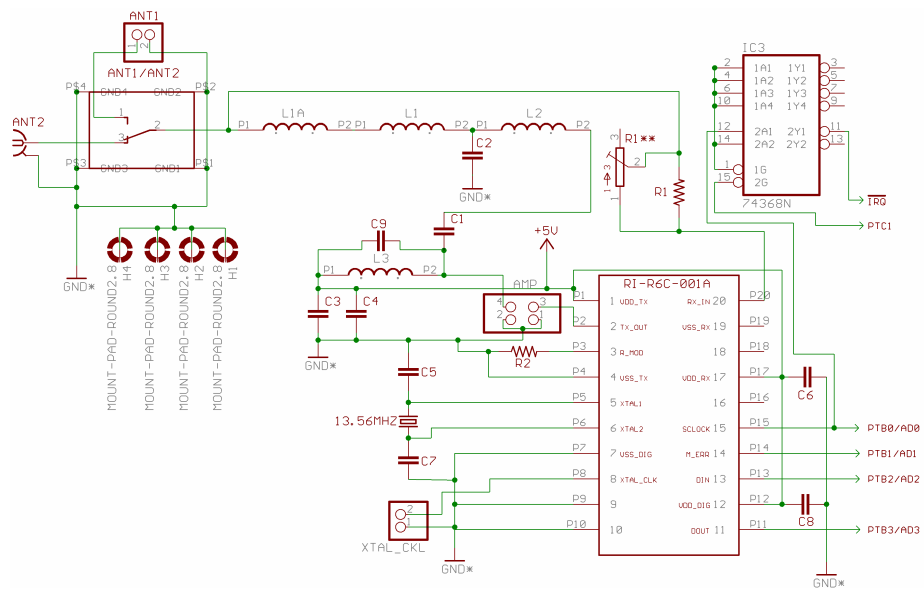


Figura 16. Circuito esquemático transductor de Radio frecuencia

#### 4.2.4 Consideraciones de diseño para circuito impreso

Teniendo en cuenta que se está diseñando un sistema de desarrollo, este debe tener unas consideraciones especiales de hardware debido al dinamismo que debe tener, para poder ser acoplado a otros sistemas y que no se generen fallos o pérdidas de señales. La explicación de algunas características ya fue mencionada en las secciones anteriores.

Debido a que el circuito electrónico está expuesto directamente a campos electromagnéticos, provenientes de la antena y el medio ambiente, se debe evitar que estos interfieran y agreguen ruido en las líneas de datos o señales moduladas con las que se trabaja. Para evitar lo anterior, es imprescindible diseñar un circuito impreso, capaz de combatir los problemas de compatibilidad electromagnética y ruido en modo común.

El circuito para el sistema de desarrollo fue diseñado, siguiendo las especificaciones que se sugieren en el texto, *Printed Circuit Board Design Techniques for EMC Compliance: A Handbook for Designers, Second Edition*.

A continuación se nombran algunas recomendaciones que se tomaron del texto anterior.

La metodología de puesta a tierra, es de gran importancia, no tan solo para que el circuito esté referenciado a tierra correctamente; también se utiliza para blindar los componentes electrónicos funcionales y evitar así corrientes parásitas o de fuga, que afectan el funcionamiento general del circuito.

La partición funcional del circuito en bloques funcionales. Los grupos funcionales ayudan a minimizar el área en donde se implementan y reducir las distancias de las líneas de señal que se utilizan, evitando así que el

tamaño de largos caminos, actúen como micro-antenas que captan ruido y agregan interferencia no deseadas.

Un bosquejo de, cómo se aplicó esta recomendación se observa en la figura 17.

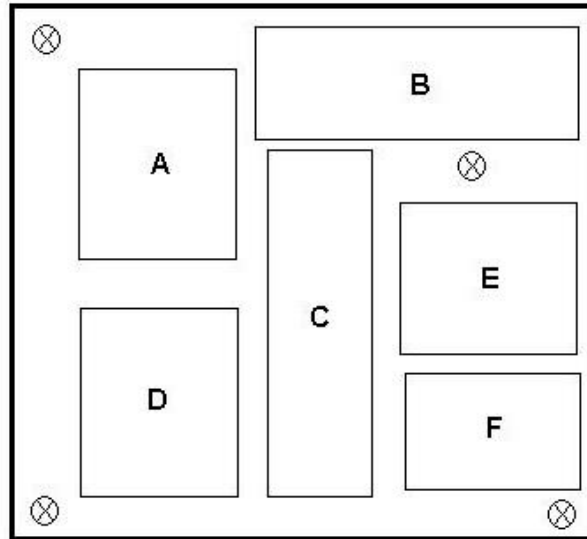


Figura 17. Partición funcional del PCB.

A: Sistema transductor de Radio-Frecuencia

B: Selector y conectores para las antenas

C: Unidad de control

D: Unidad de señalización sonora / luminosa

E: Comunicación serial

F: Fuente de alimentación

⊗ : Conexión a tierra del chasis

Estas y algunas otras consideraciones podrán ser encontradas y estudiadas en el texto al que se hizo mención en esta sección.

### **4.3 ENVÍO Y RECEPCIÓN DE DATOS HACIA Y DESDE LA TARJETA**

Para esta parte del diseño es fundamental conocer bien el funcionamiento del Transceiver y el protocolo de comunicación que se va a utilizar, para poder programar adecuadamente el microcontrolador.

El microcontrolador se debe programar con un algoritmo que configure el Transceiver y mande los parámetros suficientes para la ejecución de cada comando: Inventario, Estado Reposo, Lectura y Escritura de Bloque.

Es de gran importancia a la hora de programar, conocer: el orden y la forma en que se envían los datos; como se realiza una comunicación asíncrona, para poder realizar un buen manejo de la señal de reloj; las banderas que se manejan en una petición y en una respuesta; y el byte de comando.

#### **4.3.1 Software de Comunicación**

En la programación se tiene en cuenta todos los requerimientos que presenta para la comunicación, el Protocolo ISO/IEC 156393-3:2000 y los que presenta la guía de referencia del Transceiver (Anexo C) para su configuración.

Para la configuración del Transceiver el microcontrolador envía 8 bits, los cuales dependiendo en que nivel estén, le especifican con que funciones va a trabajar. Este Byte de configuración se envía cada vez que se envíe un comando, debido a que el Transceiver siempre trabaja en Modo Normal.

El microcontrolador toma y envía paquetes de bytes con todos los datos y parámetros suficientes para que la tarjeta decodifique correctamente y devuelva una respuesta. Una petición a la tarjeta se realiza, inmediatamente el microcontrolador recibe un paquete de bytes del PC

La transferencia de datos PC-Lector, Lector-PC se hace a través del puerto serial del computador. La selección del paquete de datos que se envía desde el PC, al igual que la visualización del paquete que recibe, se efectúa mediante una interfaz grafica realizada en Visual Basic 6.0.

#### **4.3.2 Software de envío y recepción de datos al PC, por medio de Visual Basic 6.0**

El programa Visual Basic (Anexo F) para la comunicación serial se basa en la propiedad MSComm. En esta propiedad se configura el puerto que se va a utilizar, el número de bytes máximo que se va a transmitir, el número de bytes máximo que se va a recibir y los parámetros de velocidad, paridad, bit de datos y bit de parada.

Como se mencionó antes el PC es la primera y última estación de los datos, y es, este software el que hace más amigable la manipulación de los paquetes de datos que se envían y reciben del lector. Inicialmente el usuario escoge en la interfaz el comando que desea ejecutar; con la elección de un comando aparece los parámetros que debe incluir, sencillamente se escogen los parámetros que se quieran; de esta manera se tiene organizado un paquete de datos y luego cuando se oprime el botón de enviar se activa la propiedad MSComm para transmitir y recibir el conjunto de datos serialmente hacia y desde el microcontrolador.

## 5. DISEÑO DE LA ANTENA

### 5.1 INTRODUCCIÓN

El Institute of Electrical and Electronic Engineer (IEEE) define una antena como aquella parte de un sistema transmisor o receptor diseñada específicamente para radiar o recibir ondas electromagnéticas (IEEE Std. 145-1983). Si bien sus formas son muy variadas, todas las antenas tienen en común el ser una región de transición entre una zona donde existe una onda electromagnética guiada y una onda en el espacio libre, a la que se puede además asignar un carácter direccional.

El objetivo de la antena es radiar la potencia que se le suministra con las características de direccionalidad adecuadas según el tipo de aplicación. En general, cada aplicación impondrá unos requisitos sobre la zona en la que se desee concentrar la energía. Asimismo, para poder transferir datos debe ser capaz de captar en algún punto del espacio la onda radiada, absorber energía de esa onda y entregarla al receptor. Existen, pues, dos tareas básicas para una antena: transmitir y recibir, imponiendo en cada aplicación condiciones particulares sobre la direccionalidad, niveles de potencia que debe soportar, frecuencia de trabajo y otros parámetros.

Esta diversidad de situaciones da origen a un gran número de tipos de antenas, pero aquí solo se describirá el diseño de estas, para ser utilizadas en un sistema RFID.

En este capítulo se describe cómo una antena de alta frecuencia (13.56 MHz) puede ser construida y sintonizada dada la necesidad de acoplamiento que se necesita según el lector.

## 5.2 PARÁMETROS Y REQUERIMIENTOS GENERALES

Al empezar el diseño del modelo de antena, se estudiaron varias alternativas en cuanto al tipo de antena y su circuito de acoplamiento, analizando características importantes como son el patrón de radiación y su ganancia. A medida que se hicieron pruebas, se descubrieron resultados de interés que son de gran importancia a la hora de llevar este sistema al ámbito comercial, en donde tiene un gran campo de aplicación.

Para darle al sistema de desarrollo más versatilidad, en cuanto se refiere al modelo de antena que puede utilizar, se decidió diseñar un sistema de antena dual, el cual permite utilizar una antena que esta hecha sobre el circuito impreso, integrada con el lector, o utilizar una antena independiente del mismo.

Los parámetros eléctricos para los cuales se diseño, dependen del lector al cual se conecta (Factor de calidad, ancho de banda, impedancia de antena, potencia de alimentación, relación de onda estacionaria), pero existen características generales para un apropiado acoplamiento con cualquier tipo de lector RFID con el que se trabaje.

La antena utiliza el campo magnético (H) para transferir la energía necesaria al tag durante una lectura o escritura.

Entre las principales características que se requieren para un correcto funcionamiento de la antena se encuentran:

- ✓ Resonancia a 13.56 MHz
- ✓ Factor de Calidad  $Q \leq 20$
- ✓ Impedancia de  $50 \Omega \pm 2\Omega$

✓ Relación de onda estacionaria 1.0 (SWR = 1.0; Standing Wave Ratio).

Los anteriores parámetros son quienes al final determinan el circuito de acoplamiento de la antena al transmisor.

Las antenas tipo Loop presentan la característica de tener resistencias de radiación demasiado bajas con lo que resultan frecuencias de resonancia semejantes a la de un circuito LC:

$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi} \sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R_{rad}}{L}\right)^2} \approx \frac{1}{2 \cdot \pi} \sqrt{\frac{1}{LC}} \quad (1)$$

Dado que tanto capacitancias e inductancias son características geométricas, estas guardan una relación muy estrecha con el tamaño de la antena, quien a su vez, se encuentra comprometida por razones de uso y frecuencia de trabajo.

Para la frecuencia en que se esta trabajando (13.56MHz), tener un valor de inductancia superior a los 5  $\mu$ H, trae como consecuencia que se presenten capacitancias muy pequeñas lo cual es problemático cuando se lleva a cabo la sintonización.

Para solucionar este problema se aplican dos técnicas para limitar la inductancia con la que se trabaja:

1. Usar tubo de cobre de baja resistencia en lugar de alambre.
2. Conectar dos antenas en paralelo del mismo tipo para dividir en dos la inductancia.

Luego de tener sintonizada la antena a la frecuencia de trabajo, se controla externamente su factor de calidad mediante la conexión de resistencias.

Para acoplar la impedancia total del circuito de sintonización de antena al transmisor se utiliza un transformador, junto con un circuito de balance de corrientes, mas adelante se explicará en detalle el diseño y funcionamiento de este tipo de acople.

### 5.3 MODELOS DE LAS ANTENAS REALIZADAS

#### 5.3.1 Antena integrada en baquelita (cinta de cobre)

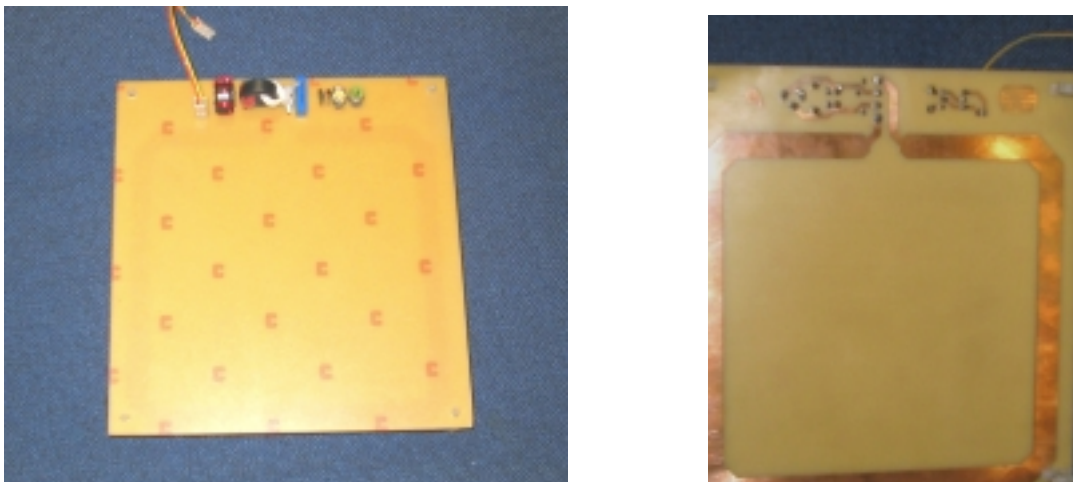


Figura 18. Antena de cinta de cobre.

Para el diseño de esta antena, se construyó en un circuito impreso un loop cuadrado de 15x15 cm. de dimensión, con 1 cm. de ancho, la cual reemplaza una cinta de cobre; el modelo de este tipo de antena es propuesto por Texas Instrument dentro de sus modelos de aplicación. Fue implementada junto con

su respectivo circuito de acoplamiento con transformador y resonador sintonizado a 13.56 MHz.

Aunque solo se llevo a cabo la fabricación de una sola antena de este tipo, resulto que la medida de inductancia para el loop esta dentro de los límites permisibles por el diseño, lo cual facilitó su construcción.

### 5.3.2 Antena de un loop en tubo de cobre (loop simple)



Figura 19. Antena de loop simple.

La antena esta compuesta por un tubo de cobre de 15x15 cm. y 4mm de diámetro formando un loop cuadrado. Este tubo es asegurado al circuito impreso, el cual contiene el circuito de acoplamiento con transformador y el resonador sintonizado a 13.56 MHz.

Este es el modelo típico que se utiliza en varias aplicaciones; como son el control de acceso y registro de personal; este modelo, pero con dimensiones mayores, es propuesto por Texas Instruments dentro de sus modelos de aplicación.

### 5.3.3 Antena de dos loop en paralelo en tubo de cobre (loop cruzado)



Figura 20. Antena de loop cruzado.

La antena esta construida por dos loop simples y cruzados a  $90^\circ$  en donde las dimensiones de cada loop son de 30x20 cm. (alto por ancho respectivamente). El material con el que se construyo es un tubo de cobre con diámetro de 6mm.

El modelo de esta antena se implemento de forma experimental, teniendo como propósito estudiar y entender el comportamiento de la orientación del campo magnético neto y alcanzar mejor desempeño, dando mejor control de la distribución de energía entregada por el lector (200mW sobre una carga de 50 ohms).

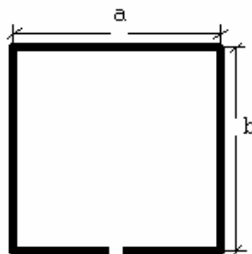
## 5.4 MEDIDA DE LA INDUCTANCIA

Hay varias formas de encontrar el valor de la inductancia las cuales se pueden utilizar dependiendo de la disponibilidad de herramientas para hacerlo.

### 5.4.1 Calculo numérico

Esta forma de medir inductancia permite llegar a un valor muy aproximado, utilizando ecuaciones matemáticas. A continuación se muestran las ecuaciones para encontrar la inductancia.

La inductancia en un tubo de cobre (2):

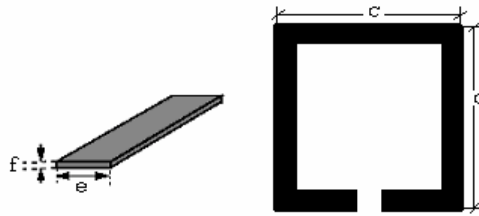


$$L_{\mu H(tubo)} = a \times 0.008 \left[ \ln \left( \frac{b \times 1.414}{2 \times \phi} \right) + 0.379 \right] \quad (2)$$

En donde:

- ➡ a: longitud de un lado del loop (cm.)
- ➡ b: longitud del otro lado del loop (cm.)
- ➡  $\phi$ : diámetro del tubo (mm.)

Y en una cinta de cobre (3):



$$L_{\mu H(cinta)} = 0.01838 \cdot c \cdot N^2 \left\{ \log_{10} \left( 2 \frac{c^2}{1.27 \cdot (e+f)} \right) - \log_{10}(0.9504 \cdot c) \right\} + 0.008 \cdot c \cdot N^2 \left\{ 0.914 + \left[ \frac{0.56769}{c} \cdot \left( \frac{e+f}{2.54} \right) \right] \right\} \quad (3)$$

Para la ecuación 3 se tiene que  $c=d$

- ➡ c: longitud del un lado del loop (cm.)
- ➡ d: longitud de otro lado del loop (cm.)
- ➡ e: Ancho de la cinta (cm.)
- ➡ f: grosor de la cinta (cm.)

Una referencia completa acerca de estas ecuaciones, se pueden encontrar en V. G. Welsby, The Theory and Design of Inductance Coils, John Wiley and Sons, Inc., 1960.

#### 5.4.2 Usando un medidor LCR a 1khz

Se efectúa la medición asumiendo una variación mínima en la inductancia cuando se trabaja a frecuencias diferentes a 1Khz, se desprecia la respuesta en frecuencia de materiales magnéticos y las variaciones que puedan existir por efecto piel. Se asume que la inductancia es una propiedad netamente geométrica (despreciando respuesta de materiales magnéticos a la frecuencia como se mencionó anteriormente)



Figura 21. Medidor LCR FLUKE PM6303A.

### 5.4.3 Usando equipo de medida dedicado para este tipo de aplicación



Figura 22. Analizador de antena MFJ-259B.

El equipo utilizado fue el analizador de antena MFJ-259B RF (Anexo B). Este instrumento permite realizar medidas de inductancia, capacitancia, impedancia de antena, SWR, Eficiencia de acoplamiento y otras mas, a una frecuencia ajustable entre 1.8 - 170MHz.

Durante la etapa de medición de los parámetros eléctricos se decidió utilizar el Analizador de antena MFJ-259B, para que de esta manera, se garantice tener valores reales de los elementos que se utilizan como lo son: la inductancia del tubo, la inductancia de la cinta de cobre y los condensadores en el circuito resonante.

En la tabla 5 están las medidas de inductancias, tomadas con los tres métodos de los que se trataron anteriormente.

L (uH)	Cinta de Cobre	Tubo de Cobre	
	Antena de baquelita 15x15 cm	Antena con un loop 15x15 cm $\Phi=4\text{mm}$	Antena con dos loop 30x20 cm $\Phi=6\text{mm}$
Teorico	0,687	0,162	0,297
Medidor LCR (1kHz)	0,57	0,625	0,779
MFJ-259B (13,56 MHz)	0,376	0,462	0,546

Tabla 5. Medidas de inductancia.

En el caso de la antena de loop cruzado, su inductancia mutua se supone pequeña debido a la disposición de una con respecto a la otra (90°) y por esto se considera despreciable.

## 5.5 CAPACITANCIA DE RESONANCIA

Por medio de la ecuación (1) podemos encontrar el valor de capacitancia apropiada para tener un circuito RLC resonante. A continuación se muestra la expresión a la que se llega y con la que se encuentra la capacitancia de resonancia.

$$C_{RES} = \frac{1}{\omega^2 L} \quad (4)$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$$

C (pF)	Cinta de Cobre	Tubo de Cobre	
	Antena de baquelita 15x15 cm	Antena con un loop 15x15 cm $\Phi=4\text{mm}$	Antena con dos loop 30x20 cm $\Phi=6\text{mm}$
Teorico	366,38	298,18	252,3
MFJ-259B (13,56 MHz)	361	289	245

Tabla 6. Medidas de capacitancia.

## 5.6 AJUSTE DEL FACTOR DE CALIDAD (Q)

El funcionamiento de la antena esta ligado con el factor de calidad que tiene.

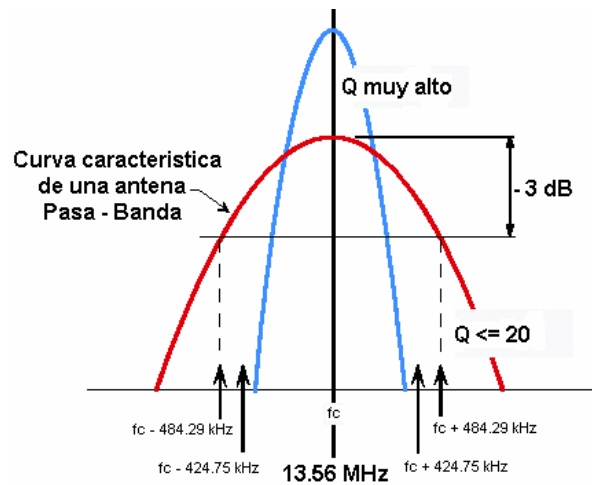


Figura 23. Factor de calidad Q.

Un alto Q hará que se tenga una alta corriente en la antena y de esta manera se mejorara la potencia de transmisión hacia el tag, pero hay un inconveniente para esta característica. El ancho de banda es inversamente proporcional al Q, un alto valor de Q causará una disminución en el ancho de banda lo que significa una reducción de la modulación recibida por el Tag. El factor de calidad (Q) para un circuito RLC paralelo es calculado según la ecuación 5.

$$Q = 2 \cdot \pi \cdot f_0 \cdot R \cdot C \quad (5)$$

El ancho de banda de la antena es calculado:

$$B = \frac{f_0}{Q} \quad (6)$$

Para muchos sistemas, el factor Q esta entre 10-30. Sin embargo esto es imposible de generalizar, porque como ya lo menciono, el Q esta limitado por la necesidad del ancho de banda y la modulación que se este usando.

El valor de R, utilizado para el factor de calidad es el total de la resistencia de radiación y la resistencia en paralelo conectada en el circuito resonante; esta resistencia es difícil de calcular o medir fácilmente sin un medidor de potencia a estas frecuencias. Es por esto que se hacen algunas aproximaciones, tomando como base la ecuación (5.4) se asume un valor de Q y posteriormente se comprueba estos resultados por medio de un analizador de espectros o en su defecto un osciloscopio.

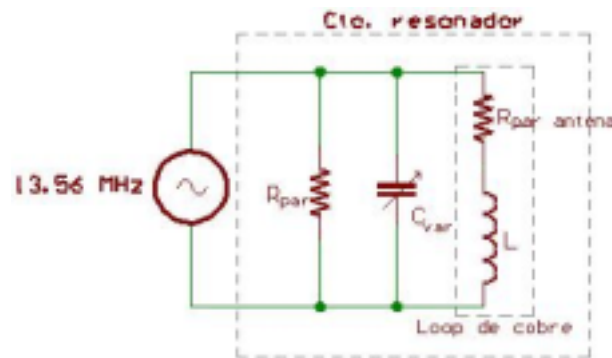


Figura 24. Modelo del circuito RLC paralelo.

Cuando el circuito RLC esta en resonancia se encuentra que la resistencia total, es calculada de acuerdo a la ecuación 7. Esta resistencia total como ya se mencionó, es la que tiene el control sobre el factor de calidad.

$$R = \frac{1}{\frac{1}{R_{par}} + \frac{1}{R_{par \text{ antena}}} } \quad (7)$$

Hay que tener en cuenta que los cálculos teóricos no garantizan exactitud real dada la imposibilidad de tener un modelo completo que garantice todos fenómenos que pueden intervenir, sin embargo bajo las aproximaciones adecuadas, se convierten en la guía para tomar los respectivos criterios de diseño.

## 5.7 ACOPLAMIENTO DE ANTENA

Para un óptimo funcionamiento, la antena y el cable coaxial alimentador, deben tener una impedancia de 50 Ohms a la frecuencia de operación. En el acoplamiento, se debe verificar que se tenga una relación de onda estacionaria menor a 1.2.

Dentro de las numerosas técnicas de acoplamiento se pueden nombrar algunas como son acoplamiento Gamma, acoplamiento-T, acoplamiento con transformador, acoplamiento capacitivo, entre otros. Se decidió utilizar el acoplamiento con transformador dado que es muy fácil de implementar y en la práctica permite la manipulación de parámetros mas controlables que no dependen tanto de la frecuencia, como es el caso de un acoplamiento por condensadores.

### 5.7.1 Acoplamiento con transformador

El circuito equivalente es mostrado a continuación.

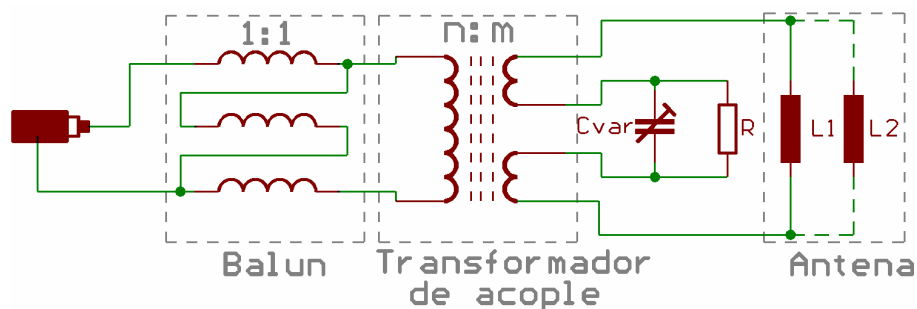


Figura 25. Circuito esquemático de la antena.

El acoplamiento esta compuesto de dos partes:

- Transformador de acoplamiento
- Transformador Balanceado/desbalanceado (Balun)

El cálculo de la relación de vueltas en el transformador de acople esta dada por el ajuste de impedancias entre el circuito de sintonización y los 50 ohms que debe ver el transmisor.

$$\left(\frac{n}{m}\right)^2 = \frac{R_{OUT}}{R_{IN}} \quad (8)$$

Donde:

- $m$  es el número de espiras de alambre en el secundario del transformador, para todas las antenas  $m=2$
- $n$  es el número de espiras de alambre en el primario del transformador
- $R_{IN} = 50$  Ohms. Esta es la impedancia a la que esta conectado
- $R_{OUT}$ : es la resistencia total de carga; esta compuesta por la resistencia propia del tubo de cobre, la resistencia para ajustar el Q ( $R_{PAR}$ ), la resistencia implícita de los demás elementos que conforman el circuito y la resistencia de radiación.

Siempre se debe tener en cuenta que esta formula no es exacta (hace parte de un transformador ideal).

### 5.7.2 Balun

Utilizando transformadores trifilares pueden obtenerse diversas relaciones de transformación según se combinen los devanados; el Balun convierte una carga desbalanceada en una carga balanceada y es usado también para



Figura 26. Modelo de un Balun.

remover ruido en modo común, en problemas asociados con antenas que tienen diferentes potenciales de tierra.

Estos potenciales pueden poner corrientes en modo común que pueden perturbar los circuitos receptores. Estos también son usados para conectar antenas balanceadas a cables coaxiales.

Si ya se tiene la impedancia adaptada mediante el transformador, se utiliza un balun compuesto de arrollamiento trifilar de alambre alrededor de un núcleo de ferrita con una relación de transformación de 1:1.

Es importante mantener fuertemente unidos los tres alambres y cada grupo de estos, espaciados uniformemente alrededor del núcleo. Para este Balun se utiliza un toroide, con radio aproximado de 7mm.

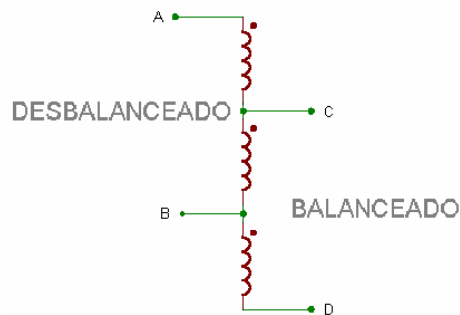


Figura 27. Circuito esquemático del Balun.

## 5.8 IMPEDANCIA DE ANTENA

La antena debe conectarse a un transmisor y radiar el máximo de potencia con un mínimo de pérdidas en ella. La antena y el transmisor deben adaptarse para una máxima transferencia de potencia y para minimizar la energía reflejada. Habitualmente el transmisor se encuentra alejado de la

antena y la conexión se hace mediante una línea de transmisión o guía de onda, que participa también en esa adaptación, debiéndose considerar su impedancia característica, su atenuación y longitud.

El transmisor produce corrientes y campos que pueden ser medibles en puntos característicos de la antena.

A la entrada de la antena puede definirse la impedancia de entrada  $Z_i$  mediante relaciones tensión-corriente en ese punto. Dicha impedancia posee una parte real  $R_i(\omega)$  y una imaginaria  $X_i(\omega)$ , ambas dependientes en general de la frecuencia. Si  $Z_i$  no presenta una parte reactiva a una frecuencia, se dice que es una antena resonante. Dado que la antena radia energía, hay una pérdida neta de potencia hacia el espacio debida a radiación, que puede ser asignada a una resistencia de radiación  $R_r$ , definida como el valor de la resistencia que disiparía óhmicamente la misma potencia irradiada por la antena. Además de las pérdidas por radiación, se tienen en cuenta las que se producen en la antena; habitualmente óhmicas en los conductores. Todas las pérdidas pueden globalizarse en una resistencia de pérdida  $R_\Omega$ . La resistencia de entrada es la suma de todas.

La impedancia de entrada es un parámetro de gran trascendencia, ya que condiciona las tensiones de los generadores que se deben aplicar para obtener determinados valores de corriente en la antena y como consecuencia, una determinada potencia radiada. Si la parte reactiva es grande, hay que aplicar tensiones elevadas para obtener corrientes apreciables. Además si la resistencia de radiación de la antena es baja, se presentan elevadas corrientes que ofrecen una potencia radiada importante; con altos valores de corriente se producen pérdidas óhmicas apreciables y elevados valores de tensión pueden producir fugas y descargas entre

diversas partes de la antena o con tierra, generando problemas de aislamiento.

Uno de los parámetros eléctricos que le exige el dispositivo lector a la antena, para obtener la máxima transferencia de potencia, es que tenga una impedancia de entrada de  $50 \Omega$ . Para conseguir esto, los elementos que conforman el circuito de la línea de transmisión también deben tener una impedancia de  $50 \Omega$ , por ello se utilizó un conector en ángulo recto SMA para impreso y un cable RG58 de  $50 \Omega$ .

Un método para medir la impedancia de entrada del circuito de la antena, es el análisis de la figura de Lissajous. Este método consiste en colocar en serie el circuito de antena una resistencia patrón de  $50 \Omega$  y observar las señales de tensión en la resistencia patrón y en la impedancia del circuito de antena. Para esto se coloca el osciloscopio en modo XY y luego se ajustan las escalas en los niveles de tensión para que sean iguales.

La forma de la figura de Lissajous cuando la impedancia de antena está a  $50 \Omega$  es una línea recta con un ángulo de  $45^\circ$ , como se ilustra en la figura 28. Para alcanzar una medida confiable, se deben tener en cuenta algunas consideraciones: La resistencia patrón utilizada sea de alta precisión ( $50 \Omega \pm 1\%$ ) y que se compensen la capacitancia propia de las puntas al hacer la conexión.

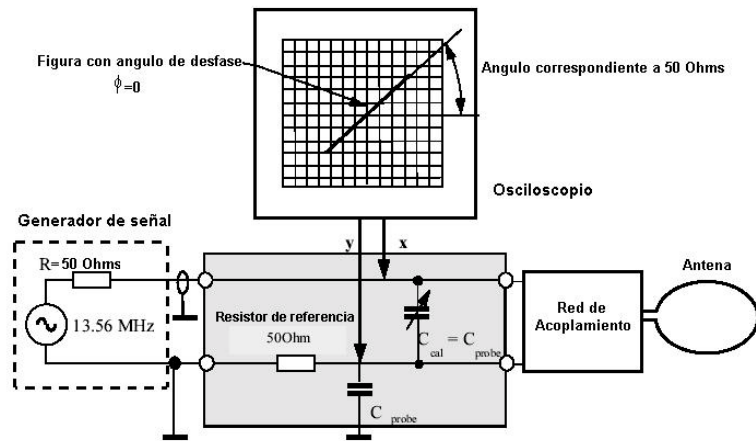


Figura 28. Método de Lissajous para medir impedancia.

La experiencia obtenida al trabajar con este método, muestra que para lograr una medida confiable, se deben cumplir en extremo las consideraciones anteriores.

Dado que las mediciones con este método se tornan muy dispendiosas al no contar con elementos de alta precisión, se prefiere utilizar el analizador de antena para realizar las medidas (Figura 29).



Figura 29. Impedancia de antena medida con el MFJ-259B.

La impedancia de entrada medida para cada una de las antenas se muestra en la tabla 7:

Z ( $\Omega$ )	Antena de baquelita 15x15 cm	Antena con un loop 15x15 cm $\Phi=4\text{mm}$	Antena con dos loop 30x20 cm $\Phi=6\text{mm}$
MFJ-259B (13,56 MHz)	50	50	51

Tabla 7. Impedancia de Antena.

## 5.9 RELACION DE ONDA ESTACIONARIA

Es una medición del grado de desadaptación entre impedancias que se acoplan, dando lugar a la formación de una onda estacionaria, resultado de la superposición entre la onda que incide y la onda que se refleja.

La magnitud de la Relación de Onda Estacionaria (*ROE*) se puede determinar según la relación (9) en función de los coeficientes de reflexión de voltaje  $\rho_v$ , o mediante la relación (10) en función de la relación entre los voltajes máximo y mínimo de la misma *ROE*.

$$R.O.E = \frac{1 + \rho_v}{1 - \rho_v} \quad (9)$$

$$R.O.E = \frac{E_{MAX}}{E_{MIN}} \quad (10)$$

Se tiene que  $1 \leq R.O.E \leq \infty$ ; cuando la  $R.O.E=1$  significa que no existe onda reflejada y por lo tanto no hay ondas estacionarias, entonces la adaptación entre impedancias es buena. Si por el contrario el extremo de la línea de transmisión se encuentra abierto o en cortocircuito, la *R.O.E* se hará infinita, presentándose la máxima desadaptación.

Esta es una característica más, que permite comprobar la eficiencia del acople en el circuito de la antena, con respecto a la línea de transmisión y los elementos que se utilizan para el acople.

En el diseño de las tres antenas, es crítico este factor, dado que la potencia que le suministra el lector es de tan solo 200 mW y cualquier desacople tiene como consecuencia; pérdida de potencia por transmisión, menor potencia de radiación de la antena y disminución del rango de lectura del tag.

Para los diseños de antenas que se implementaron se tiene que la R.O.E es igual a 1 (SWR =1.0) en todos los casos, lo cual garantiza que tienen un acoplamiento muy bueno. Esta medida se realizó con el analizador de antena (MFJ-259B).

#### **5.10 BOSQUEJO GENERAL DEL CAMPO MAGNÉTICO PARA LAS ANTENAS DE LOOP CRUZADO Y LOOP SIMPLE.**

Cuando se opera con varias antenas, el acoplamiento entre estas, puede mejorar o degradar el desempeño de las antenas individuales.

El grado de acoplamiento entre las antenas depende de la distancia y el ángulo entre ellas. Una antena que esta a  $90^\circ$  con respecto a la otra tendrá un mínimo de acoplamiento magnético.

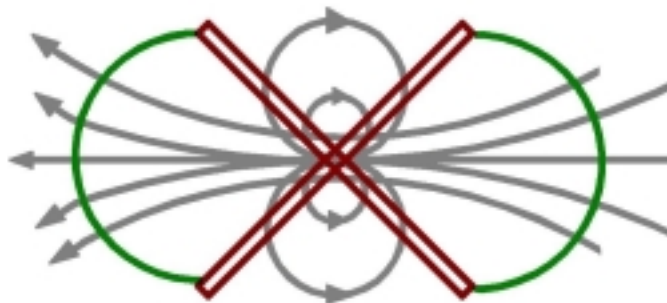


Figura 30. Doble antena con sus líneas de campo magnético (vista superior).

Con el acople de loops cruzados de la forma como se ilustra en la figura 30, se obtiene un campo resultante de la suma de los loop independientes, logrando concentrar la mayor parte del campo magnético en dos de los cruces de las antenas.

Las líneas verdes en la figura 30 bosquejan proporcionalmente el campo mínimo para que la tarjeta funcione.

Entre los propósitos específicos del por qué se hacen arreglos de antenas, el más importante es dirigir los campos magnéticos en una forma específica, alcanzando así, directividad de antena mayores en algunas direcciones de interés. En esta implementación también ayudó este arreglo de antenas, ya que reduciendo el valor de la inductancia (se colocaron dos antenas en paralelo) los valores de capacitancias para la resonancia eran más prácticos y comerciales, la figura 31 muestra las líneas de flujo de campo magnético para una antena de loop simple.

El campo magnético se concentra en el centro de la antena y a medida que se aleja de este, decae en gran medida. Este hecho es el que define la distancia a la que puede leerse la tarjeta (Tag).

La posición de la tarjeta con respecto al campo debe estar de una forma tal que este la atraviese, para que de esta manera se active y haya buena comunicación entre los dos dispositivos; según esto la mejor manera de ubicar la tarjeta, para que detecte la mayor cantidad de campo magnético de la antena es colocarla en el centro y paralela a esta. Esto no quiere decir que no pueda leerse en otras posiciones, solo que de esta manera obtiene el campo más fuerte; pero desde que se cumpla la condición, que el campo magnético atraviese la tarjeta, se tiene comunicación buena.

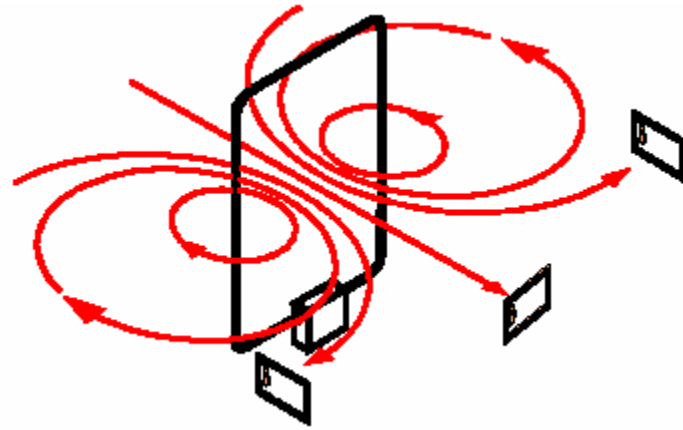


Figura 31. Antena loop simple con sus líneas de flujo magnético.

## **6. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

### **6.1 RESULTADOS OBTENIDOS EN EL ENVÍO DE DATOS**

El hardware implementado para la lectura y escritura de la tarjeta sin contacto opera bajo un nivel de voltaje de 5 V (anexo C), el cual es suficiente para permitir que los circuitos integrados y el microcontrolador funcionen correctamente. En este nivel el Transceiver también se encuentra dentro de su límite de operación. Se eligió este valor por ser el nivel más alto al cual funciona correctamente y ofrece la mayor potencia de salida.

Antes de enviar el primer comando al Transceiver, se le debe enviar un comando de encendido, y luego el byte de configuración junto con los demás bytes de datos y parámetros, de esta manera el Transceiver sabe que se va a comunicar con la tarjeta, garantizando que el comando sea ejecutado correctamente.

El Transceiver está configurado para que trabaje con una tasa de datos alta, 2 subportadoras, modulación del 10%, protocolo ISO 15693. El anexo C presenta una documentación más específica sobre el Transceiver.

La ejecución de una petición a una tarjeta puede verse afectada si no se envían los datos en el orden que indica el protocolo ISO/IEC 15693-3:2000, sin embargo se debe tener en cuenta que los comandos de configuración del Transceiver se mandan en un orden diferente. Los comandos que maneja el Transceiver envían primero el bit más significativo y el resto de campos del protocolo, envían: de un campo el byte menos significativo y de un byte el bit menos significativo. Por lo tanto si no se envían los paquetes de datos completos y en el orden establecido, no se logra un buen funcionamiento del

lector, lo cual resulta en que la tarjeta no responde, debido a que no se le suministran los parámetros y comandos necesarios para lograr una comunicación satisfactoria.

Otra característica importante para resaltar es la frecuencia a la cual opera la señal de reloj. Esta señal como se menciono antes, es bidireccional; en la comunicación Lector – Tarjeta es manejada por el microcontrolador y en la comunicación Tarjeta – Lector es controlada por el Transceiver. La frecuencia de la señal de reloj con la que el microcontrolador, envía los datos debe ser menor a la frecuencia con la que el Transceiver devuelve los datos, de lo contrario la tarjeta no devuelve respuesta.

Otro razón por el cual no se obtiene respuesta de la tarjeta se debe al hecho de no incluir la Verificación de Redundancia Cíclica (CRC) de los bytes enviados a la tarjeta, dentro del mismo paquete de datos y parámetros que se le deben mandar; ya que según lo analizado la tarjeta apenas recibe el conjunto de bytes, realiza el algoritmo de verificación y si no es correcta no responde.

Las figuras 32 y 33 tomadas del Analizador Lógico ilustran las señales enviadas por el microcontrolador al Transceiver. La figura 32 permite hacer varias apreciaciones. La señal del control de la compuerta NOT de tres estados, se mantiene en alto porque no es necesario invertir la señal de reloj en el envío de datos, en consecuencia la señal SCLOCK negada, también se encuentra en alto; la línea SCLOCK y DIN muestran el inicio de marco, el cual, como se observa, es un flanco de subida en DIN mientras el reloj se conserva en alto, y luego muestran los pulsos de reloj que habilitan cada dato fijado en la línea DIN.

La figura 33 enseña el final del envío de datos. Se observa el fin de marco que es, un flanco de caída en DIN mientras el reloj se mantiene en alto; un pulso en DIN mientras el reloj esta en bajo, el cual indica, que el microcontrolador le da el manejo de la señal de reloj al Transceiver para esperar por una respuesta, al final se aprecia una caída de la línea del control de la compuerta, permitiendo de esta manera, invertir la señal de reloj y utilizar la interrupción externa IRQ del microcontrolador para recibir los datos.

Las líneas DOUT y M\_ERR todo el tiempo se conservan en bajo y DIN después del cambio de reloj se fija en alto.

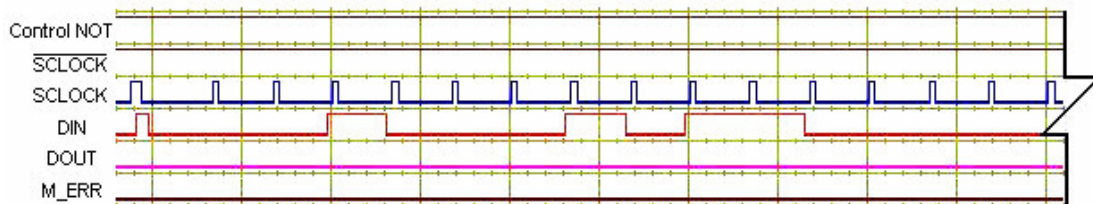


Figura 32. Señales enviadas por el microcontrolador al Transceiver, inicio del envío.

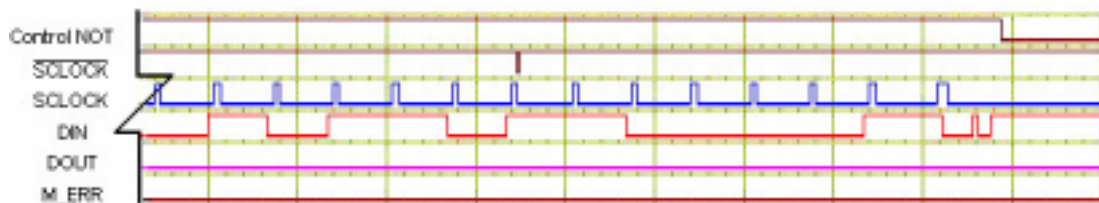


Figura 33. Señales enviadas por el microcontrolador al Transceiver, fin del envío.

Las gráficas permiten analizar que es importante para el envío fijar los datos en la línea DIN cuando la señal de reloj este en un nivel bajo y luego si ordenar el flanco de subida de la línea para habilitar el dato, de lo contrario se confunden los datos con el inicio o el fin de marco. En general todos los

cambios de nivel en la señal DIN se deben realizar mientras la señal SCLOCK este fijada a cero.

## 6.2 RESULTADOS OBTENIDOS EN LA RECEPCIÓN DE DATOS

Dentro del conjunto de datos de respuesta, la tarjeta devuelve los dos bytes de Verificación de Redundancia Cíclica (CRC) junto con dos bits al final del paquete, por lo cual se debe tener especial cuidado a la hora de manipular los datos recibidos de la tarjeta. Además los campos son recibidos en el mismo orden que se envía; de un campo el byte menos significativo y de un byte el bit menos significativo, por lo que se debe organizar los bytes cuando se quiere visualizar un campo. Por ejemplo, cuando se hace una petición de inventario, el campo del UID que se recibe es: **28059206000007E0** pero se debe visualizar: **E007000006920528** el cual si, corresponde al Numero de Inventario de la tarjeta.

La posición más adecuada para que la tarjeta ejecute un comando con éxito, Es situarla paralela al centro de la antena, pues allí esta la mayor concentración del campo magnético.

La tarjeta para poder ser leída, debe ser puesta a una distancia cercana a la antena para que detecte el campo y se active. Cuando la tarjeta no detecta un campo fuerte de la antena para su activación, devuelve un inicio y fin de marco contiguos o un error en la Verificación de Redundancia Cíclica (CRC) debido a que no recibe correctamente los datos; Esto se visualiza en la pantalla con un mensaje de “NO HAY TARJETA”, igual al que aparece cuando realmente no se coloca un tarjeta cerca de la antena. Estos se constituyen entonces como fallos de lectura. También se debe tener en

cuenta que la tarjeta al igual que el lector o la antena puede presentar daños que impiden realizar una buena comunicación.

Las gráficas 34 y 35 presentadas a continuación, ilustran las respuestas cuando la tarjeta no detecta campo suficiente y cuando no hay tarjeta.

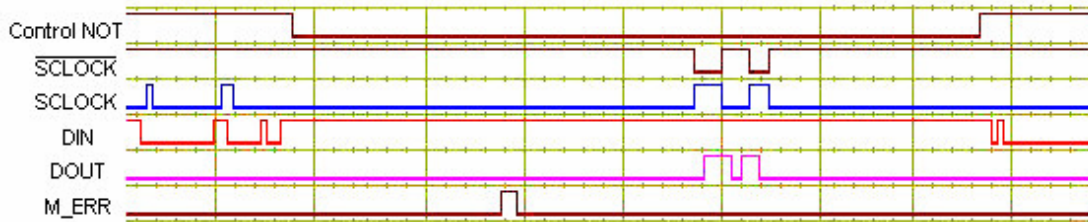


Figura 34. Respuesta de la tarjeta cuando no se ejecuta correctamente un comando.

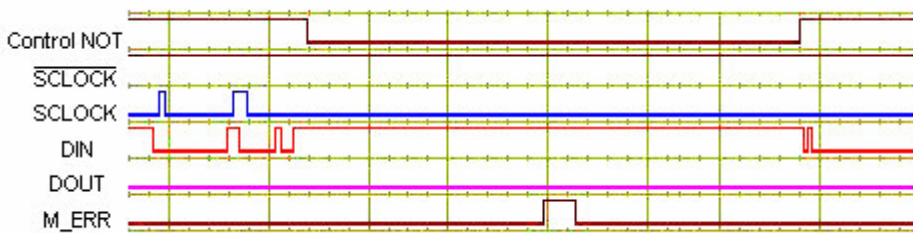


Figura 35. Respuesta cuando no hay tarjeta en el campo de la antena.

Estas gráficas ilustran un cambio en la señal M\_ERR. Este pin del Transceiver genera un pulso siempre que termina de enviar los datos a la tarjeta y varios pulsos cuando recibe un dato erróneo de lo contrario se mantiene siempre fijado a cero.

Las gráficas 36 y 37 ilustran las señales de respuesta de la tarjeta. En la grafica puede observarse: la señal de reloj negada, utilizada para la recepción de datos, La línea SCLOCK que habilita cada dato de la señal DOUT, el inicio y el fin de marco definidos de la misma manera que para el envío de datos. En el final de la grafica 6.6 se aprecia, un flanco de caída en la línea

DIN y un flanco de subida en la señal de Control NOT, lo cual indica que el microcontrolador retoma el manejo de la señal de reloj.

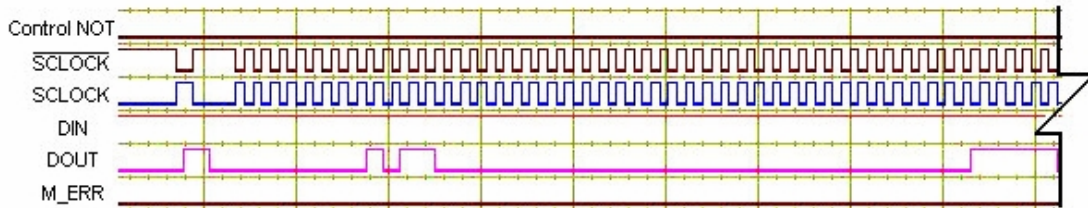


Figura 36. Señales enviadas por el Transceiver al microcontrolador, inicio del envío.



Figura 37. Señales enviadas por el Transceiver al microcontrolador, fin del envío

De igual manera que, en el envío los datos de la señal DOUT son fijados mientras la señal de reloj esta en un nivel bajo, para que se puedan diferenciar de un fin o un inicio de marco.

Se observa que la señal de reloj en la respuesta es simétrica a diferencia de la señal en la petición. No es posible lograr una señal simétrica en el envío porque el cristal usado para el microcontrolador tiene un valor de frecuencia pequeño por lo tanto el tiempo de ejecución de cada instrucción es relativamente grande. Tratar de mantener más tiempo el pulso de reloj en alto, implica más tiempo en el período y si este se hace mas grande sobrepasa el período de la señal de reloj devuelto por la tarjeta, trayendo como consecuencia que esta no responda, tal como se había mencionado antes. El tiempo que se sugiere para cada ciclo de reloj en el microcontrolador es de  $0.27\mu\text{s}$ .

Otra consecuencia del elevado tiempo de ejecución de una instrucción en el microcontrolador debido al cristal, es el software implementado para el envío y la recepción de datos. En el envío para lograr el período de reloj adecuado se hace necesario guardar en un vector bit por bit los datos y después si enviar todo el vector serialmente. En la recepción no se logra capturar correctamente los datos sino por interrupciones guardándolos en un vector; esto en consecuencia genera un alto costo de la memoria RAM al tener que utilizar un byte para almacenar un bit y como se trabaja con funciones para el envío y recepción es necesario ampliar el tamaño de la pila para que pueda procesar todos los datos.

La limitante del cristal que se utiliza es la comunicación serial, por esta razón se trabaja con un valor pequeño pues es difícil conseguir en el mercado nacional un cristal más alto que permita establecer la comunicación serial con el PC.

### 6.3 RESULTADOS OBTENIDOS PARA CADA COMANDO

Para tener una referencia de los términos en que se hablan y conocer el significado del color de los paquetes de datos ilustrados como ejemplos, se explica el contexto de un paquete.

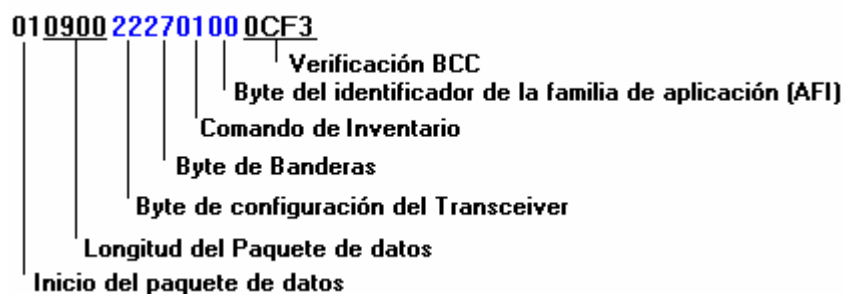


Figura 38. Estructura general de un paquete de datos

Los bytes señalados con azul son los que se envían o devuelven hacia y desde la tarjeta. Cada porción identificada con un significado, como se mencionó antes, es llamada campo, y en total el paquete de datos, es un ejemplo de lo que recibe o envía el PC. Cada campo contiene primero el byte menos significativo.

La definición del byte de banderas tanto de petición como de respuesta se puede encontrar en el Protocolo ISO/IEC 15693-3:2000,7.3.1.

### 6.3.1 Lector conectado

Lector conectado realmente no es un comando, se propuso como si lo fuera para verificar si el lector esta, o no conectado. Cuando se envía este “comando” el PC manda un byte determinado, si recibe un byte similar, entiende que el lector fue conectado de lo contrario no.

### 6.3.2 Inventario

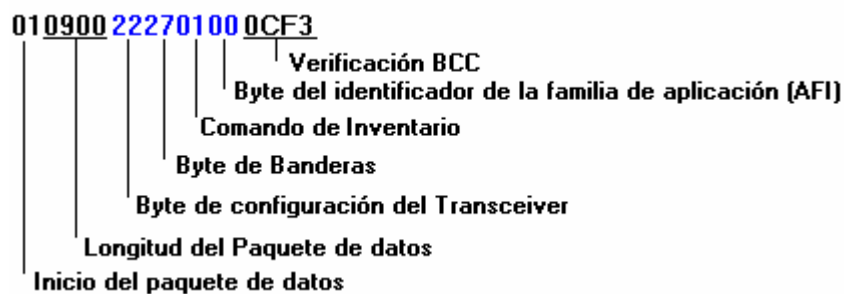


Figura 39. Paquete de datos enviado por el PC, comando de inventario.

El comando de inventario se envía para conocer el número de identificación de la tarjeta; es de carácter obligatorio. Se observó su importancia cuando se ejecutaron los comandos de Estado Reposo, Lectura y Escritura direccionada, pues permite establecer comunicación con tarjetas

seleccionadas, lo cual es una ventaja para cuando se quiera realizar una aplicación con este sistema.

El byte del identificador de la familia de aplicación se explica en el ISO/IEC 15693-3:2000,4.2, tabla 1 (Codificación AFI). Como no se quería un tipo de aplicación específica se codificó como 00<sub>HEX</sub>.

La respuesta que se obtiene para este comando cumple con todas las especificaciones del protocolo de comunicación ISO/IEC 15693-3.

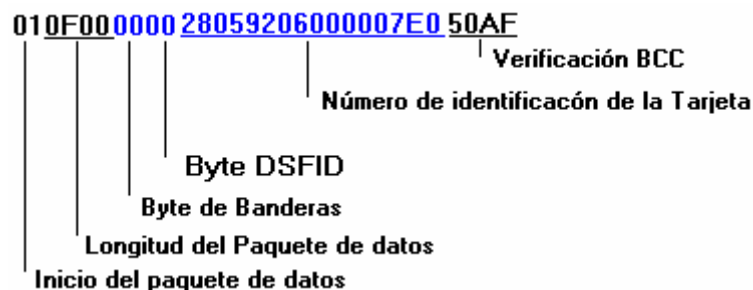


Figura 40. Paquete de datos recibido por el PC, comando de inventario.

El Transceiver y la tarjeta permiten que se hagan lectura de varias tarjetas simultáneamente, para lo cual se debe implementar un procedimiento de anticolisión que este comando permite realizar. El sistema de desarrollo implementado, solo permite la lectura de una tarjeta al tiempo, sin embargo el desarrollo de este protocolo de anticolisión se propone como una mejora para este trabajo de grado.

### 6.3.3 Estado Reposo

Este comando al igual que el de Inventario es de tipo obligatorio cuando se implementa un lector siguiendo el Protocolo ISO/IEC 15693.

Las pruebas realizadas con este comando permiten observar, que restringe la comunicación con una tarjeta específica, por ello esta petición siempre

debe hacerse en modo direccionado. Se puede poner en Estado Reposo, solo la tarjeta que corresponda con la dirección. Si no se define la dirección (UID), en este campo se adicionan ceros.

Cuando se hace esta petición y la tarjeta que se identificada con el UID está en el campo, inmediatamente queda en estado reposo y mientras ésta, permanezca en el campo, no responde a ningún comando de lectura o escritura, a menos que se envíe en modo direccionado. Apenas la tarjeta queda fuera del campo, esta sale del estado de reposo.

Frente a una petición de estado reposo la tarjeta no devuelve respuesta, tal como lo da a conocer el Protocolo.

La figura 41 ilustra el paquete de datos enviado al PC

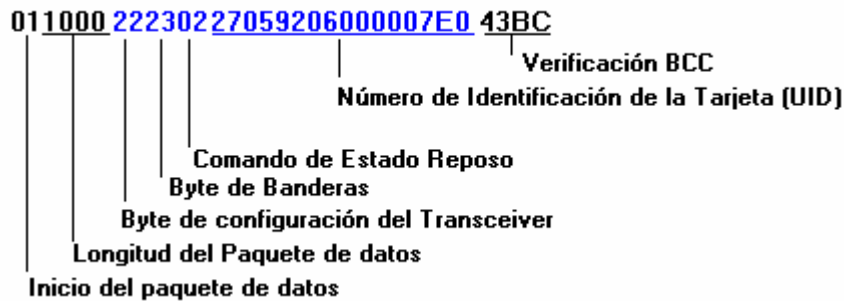


Figura 41. Paquete de datos enviado por el PC, comando de estado reposo.

### 6.3.4 Lectura de Bloque

Este comando al igual que el comando de Escritura de Bloque es de tipo opcional, están dentro de los comandos que puede soportar la tarjeta.

Este paquete de datos es un ejemplo de una petición de lectura direccionada, para el caso, en que se quiera una lectura no direccionada, simplemente se suprime el campo del **UID**.

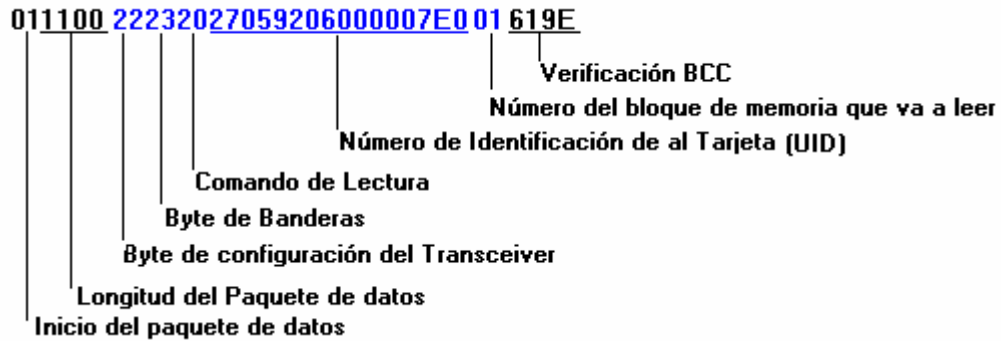


Figura 42. Paquete de datos enviado por el PC, comando lectura de bloque.

La implementación de este comando se hizo de acuerdo al Protocolo; la ejecución del comando en modo no direccionado y la respuesta cuando hay tarjeta en el campo no presento problemas, pero la petición direccionada presento un inconveniente cuando se hacia el envío de los datos, debido a que el número de datos a enviar era grande, este se solucionó aumentando el tamaño de la pila del microcontrolador.

La repuesta de la tarjeta cuando no esta en el campo o cuando se presenta un error de lectura no corresponde a la mencionada por el protocolo, pero el software se implementa para que la respuesta sea similar a esta.

La figura 43 ilustra un ejemplo del paquete de datos devuelto por el microcontrolador para una petición de inventario.

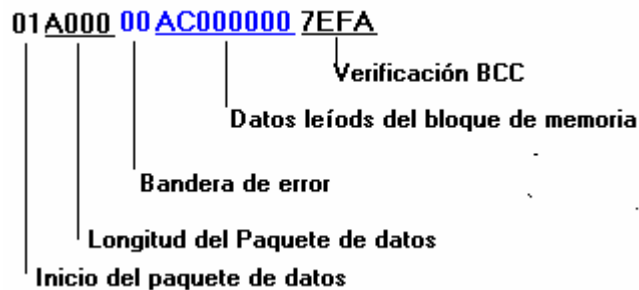


Figura 43. Paquete de datos recibido por el PC, comando lectura de bloque.

### 6.3.5 Escritura de bloque

El paquete mostrado en la figura 44, es un ejemplo de una petición de escritura direccionada. Similar al comando de lectura, cuando se quiera ejecutar el comando de Escritura de Bloque no direccionada, solo se suprime el campo del UID.

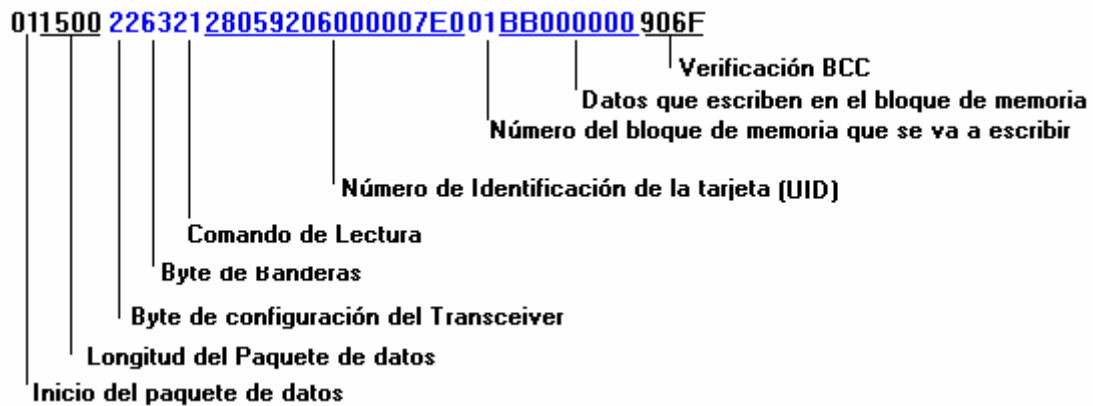


Figura 44. Paquete de datos enviado por el PC, comando escritura de bloque.

El trabajo con este comando presento algunos problemas debido a que no se obtuvo respuesta para esta petición, tanto en modo direccionado, como en modo no direccionado; lo cual no está contemplado dentro del protocolo. Sin respuesta al comando no se puede conocer si se realizó una escritura correcta; frente a este inconveniente lo que se hizo fue enviar a leer el bloque que se mandó a escribir y comparar los datos leídos con los escritos, dentro de la misma petición de escritura direccionada o no direccionada; de esta manera se verifica si el bloque de memoria de la tarjeta fue o no escrito satisfactoriamente. Luego el microcontrolador según la verificación organiza y envía un paquete de respuesta como el especificado por el Protocolo.

Los paquetes de datos que devuelve el microcontrolador para una escritura correcta e incorrecta y que corresponden con los que se deberían obtener según el protocolo son:

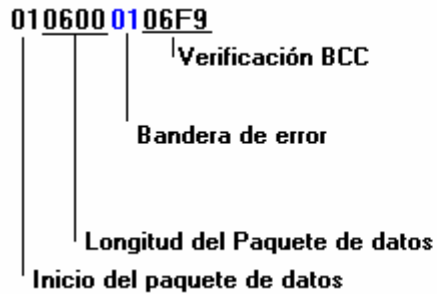


Figura 45. Respuesta para una petición de escritura si hay error.

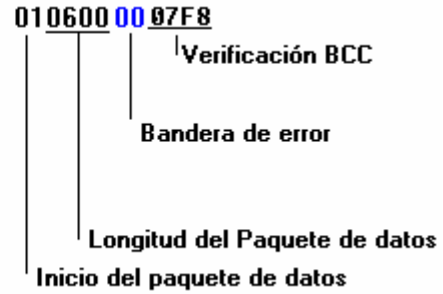


Figura 46. Respuesta para una petición de escritura si no hay error

El byte en azul corresponde al byte de banderas que debería devolver la tarjeta para una escritura correcta o incorrecta. Teniendo esta respuesta, el PC, puede visualizar en pantalla si la escritura se llevo a cabo adecuadamente o no.

#### 6.4 ANÁLISIS DEL RANGO DE LECTURA PARA UNA ANTENA

El rango de lectura se puede definir como la máxima distancia de comunicación entre la tarjeta y el lector. Es una característica bastante importante para un de lector de tarjetas sin contacto, debido a que una distancia apreciable de lectura o escritura puede darle más utilidad al sistema. El rango de lectura esta directamente relacionado con la potencia de salida que ofrezca el integrado transductor de Radio Frecuencia que para el caso es de 200mW, el factor de calidad y la resistencia de radiación de la antena; parámetros sobre los cuales no se logro hacer una buena medida.

El análisis del rango de lectura se hace solamente para la antena de cinta de cobre, que es la que ofrece mayor rango. Se hace solo para una antena porque se quiere analizar el comportamiento de la distancia a la cual el lector puede leer o escribir la tarjeta, por lo tanto los resultados para las tres son similares, solo que para las otras dos el rango es más corto.

Se presentan algunos cálculos estadísticos acerca del porcentaje de error en la ejecución de los comandos de lectura y escritura, para dos tarjetas situadas a diferentes distancias de la antena.

Para tomar los porcentajes de error se realizaron 100 muestras continuas de un bloque de memoria, repitiendo este procedimiento 5 veces y sacando un promedio de los porcentajes hallados; el conteo de lecturas o escrituras erróneas se hizo por software. Los porcentajes calculados se muestran en las tablas 8 y 9 (Tarjeta **A**: Ref. **RI-TH1-CB1A**, Tarjeta **B**: Ref. **RI-TH1-CB2A**)

Distancia (cm.)	Porcentaje de Error (%)	
	Lectura de Bloque	Escritura de Bloque
12	38	38
11	6	14
10	4	7
8	0	1,4
4	0	0,2
0	0	0

Tabla 8. Porcentajes de error en la tarjeta A.

Distancia (cm.)	Porcentaje de Error (%)	
	Lectura de Bloque	Escritura de Bloque
12	62	100
11	36	92
10	18	50
8	2	9
4	0	0,2
0	0	0

Tabla 9. Porcentajes de error en la tarjeta B.

Según las tablas un rango de lectura/escritura aceptable para el lector implementado, esta entre 8 y 10 cm. para la tarjetaA y entre 4 y 8 cm. para la tarjetaB.

Como permiten apreciar las tablas, los porcentajes de error en los comandos para las dos tarjetas son diferentes a pesar de ser tomados para distancias iguales, esto permite concluir que el desempeño de las tarjetas también cuenta para estimar el rango de lectura de un lector. Para este caso la diferencia se presenta porque las referencias de las tarjetas no son iguales; según las hojas de especificaciones, la tarjeta que presenta porcentajes de error más alto, necesita mas campo magnético para activarse.

Según los cálculos estadísticos ilustrados, para el rango de lectura más grande, se obtiene el porcentaje de error más alto, y para el más corto se alcanzan resultados opuestos, esto se debe a que el campo, en el límite es muy débil para garantizar que siempre se active la tarjeta. Por otra parte en las distancias intermedias se estima un porcentaje de error aceptable, en

resumen se puede decir que, mientras la tarjeta se mantenga a una distancia de la antena, donde se garantice un campo fuerte el fallo de lectura es mínimo, pero si se ubica al límite de la distancia a la cual detecta el campo, el fallo en la ejecución del comando es elevado.

En el porcentaje de error encontrado para la Escritura de Bloque, se observa que la distancia, a la que empieza a ser pequeño, esta por debajo con respecto a la escritura de bloque, esto se presenta porque una escritura en la tarjeta necesita más campo magnético para poder ejecutarse correctamente. Según la teoría la distancia a la que escribe una tarjeta corresponde al 70% de la distancia a la que se puede leer la tarjeta.

## **6.5 ANÁLISIS DE LAS ANTENAS**

Para los tres diseños de antenas: loop cruzado, loop simple y cinta de cobre se encontró que el valor de inductancia del circuito, está dentro del intervalo que permiten encontrar valores de capacitancias comerciales.

Una condición que se debe tener en cuenta, es la limitación dada por el equipo de medida utilizado (analizador de antena MFJ259B), debido a que no mide impedancias mayores de  $650 \Omega$  e inductancias menores que  $0.1 \mu\text{H}$ .

Intentar mejorar el transformador de acople, permite descubrir que el calibre del alambre y el número de vueltas son parámetros que tiene una influencia importante en la inductancia y en consecuencia en la impedancia total del circuito. Por lo tanto, la inductancia total del circuito esta dada, no solamente por el loop de la antena, sino también por el alambre que va arrollado en el secundario del transformador de acople y los caminos del impreso.

Trabajar con la mínima relación de vueltas, trae problemas adicionales, ya que el transformador de acople, no se comporta como un transformador ideal.

Lograr medidas confiables del circuito de antena, implica tener en cuenta todos los factores que influyen en el funcionamiento del circuito como lo son: fuentes de tensión acopladas a  $50 \Omega$  con un nivel constante, puntas de los osciloscopios correctamente compensadas, buena calibración de los instrumentos de medida y elementos circuitales parametrizados.

### 6.5.1 Factor de calidad y la resistencia de radiación

El circuito RLC paralelo ideal, muestra en las simulaciones hechas, que el factor de calidad es fácilmente controlable con la manipulación del resistor  $R$ , pero cuando se prueba experimentalmente, se observa que el  $Q$  es controlado por la resistencia total que tiene el circuito.

La resistencia total del circuito RLC se modela como se muestra en la figura 47 cuando entra en resonancia:

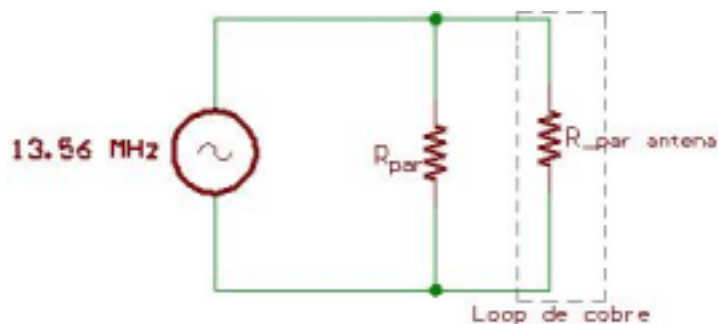


Figura 47. Resistencia total del circuito cuando esta en resonancia.

De acuerdo al circuito 6.16, la resistencia total esta compuesta por el paralelo de la resistencia  $R_{par}$  fijada en el circuito y la resistencia de radiación de la antena  $R_{par\ antena}$ .

Para hacer un cálculo aproximado de la resistencia de radiación se puede llevar a cabo el siguiente procedimiento: se alimenta el circuito en resonancia con una señal senoidal de 13.56MHz, para garantizar que la impedancia vista solo fuera resistiva, se toma esta medida con el analizador de antena y se realiza el cálculo para encontrar la resistencia de radiación. Se habla de una  $R_{par\ antena}$  aproximado porque en la medida experimental, se tiene en cuenta otras resistencias (resistencias propia del los materiales) que en el circuito ideal no se incluyen.

Lo anterior mencionado trae como consecuencia que el valor total de resistencia que tiene el circuito, tendera hacia el valor de la resistencia de radiación.

Si retomamos la ecuación matemática para encontrar el factor de calidad,

$$Q = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot R \cdot C \quad (1)$$

se encuentra que si la antena tiene una resistencia de radiación baja, necesariamente se tiene un Q bajo, y con el limitante de no poder incrementar este valor, a menos que se incremente el valor de la resistencia de radiación aproximada.

Como no se tiene un valor exacto de la resistencia de radiación, no es posible encontrar un valor teórico para el Q.

Es por esto, que se debe tomar el Q medido experimentalmente y comprobar la deducción del Factor de calidad a partir de la resistencia de radiación.

La forma experimental con la que se hizo la medida del factor de calidad es así:

Primero se alimenta el circuito de antena con un generador de señal con frecuencia variable; luego se conecta un osciloscopio en paralelo del circuito resonador; se encuentra la frecuencia para la cual se tiene máxima amplitud de la señal; teniendo la máxima amplitud se encuentra a que frecuencias se logra obtener la señal a -3dB; estas frecuencias se nombran así:

$f_0$  = Frecuencia de resonancia

$f_2$  = Frecuencia superior a la de resonancia

$f_1$  = Frecuencia inferior a la de resonancia

En la siguiente tabla, se puede apreciar el valor de estas frecuencias y el factor de calidad experimental para cada una de las antenas.

	Cinta de Cobre Antena de baquelita 15x15 cm	Tubo de Cobre	
		Antena con un loop 15x15 cm $\Phi=4\text{mm}$	Antena con dos loop 30x20 cm $\Phi=6\text{mm}$
$f_0$ (MHz)	12,14	13,71	10,88
$f_2$ (MHz)	14,2	18	13,51
$f_1$ (MHz)	9,2	11,11	8
Q	2,428	1,98	1,97
BW (MHz)	5	6,89	5,51

Tabla 10. Medidas del Factor de Calidad y Ancho de Banda.

Con estos resultados se puede comprobar que la distancia de lectura en las antenas si dependen del factor de calidad; para verificar esto se compara los rangos de lectura de las antenas, con su respectivo Q.

	Cinta de Cobre Antena de baquelita 15x15 cm	Tubo de Cobre	
		Antena con un loop 15x15 cm $\Phi=4\text{mm}$	Antena con dos loop 30x20 cm $\Phi=6\text{mm}$
Q	2,428	1,98	1,97
Rango de Lectura (cm.)	12	8	6

Tabla 11. Factor de calidad vs. Rango de lectura.

Como consecuencia de los resultados obtenidos para el factor de calidad (Q) se analiza, la manera de incrementar los rangos de lectura, manipulando el factor de calidad, manteniendo la misma potencia que entrega el lector.

El análisis permite plantear dos soluciones:

1. Utilizando el modelo de antena que se tiene, aumentar la resistencia de radiación, cambiando los materiales con los que se implemento la antena. Si se decide esto, se tiene que hacer una parametrización de los materiales y elementos usados (tubo del loop o cinta conductoras, capacitores, resistencias, transformador), y de esta manera tener certeza del valor de la resistencia de radiación y así, tener la capacidad de manipularla según se desee.

Las antenas con las que se cuenta, fueron hechas con tubos de cobre comunes, es por esto que no se tiene especificaciones de las características del material y de la homogeneidad con la que fue fabricado. Es por esto que la escogencia del material del loop de la antena es un factor de gran importancia.

2. Cambiar el modelo del circuito de antena con el que se trabaja. Hasta ahora el modelo manejado es el RLC paralelo, pero cabe la posibilidad de utilizar el modelo LC serie. Según los resultados de las simulaciones del circuito, se tiene buen control del factor de calidad y buena respuesta de la señal, cuando el circuito se encuentra en resonancia. El parámetro clave en este modelo, es el valor de inductancia que tiene el loop, ya que este afecta directamente el factor de calidad.

Cuando se lleva acabo la simulación del circuito, se deben tener en cuenta todos los parámetros eléctricos que hacen parte de este, tal como la resistencia de radiación y demás valores resistivos que hacen parte del circuito real.

El modelo LC serie, al que se refirió anteriormente, es el mostrado en la figura 48.

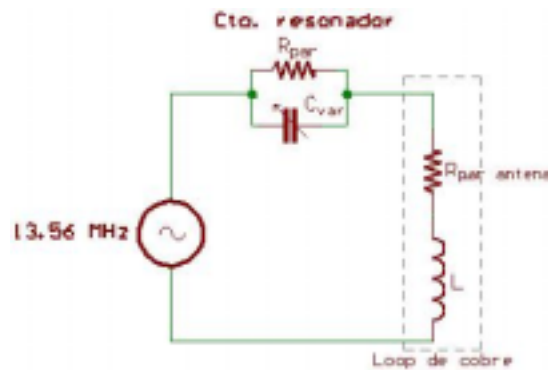


Figura 48. Circuito de antena LC serie.

### 6.5.2 Funcionamiento de las antenas.

Las formas como se pueden construir las antenas son variadas y en general, depende de la necesidad en la aplicación. La forma también está acotada por otros aspectos, como son: la potencia de alimentación, la inductancia de los loops, el factor de calidad, entre otros.

Debido a las limitantes anteriores, especialmente por la potencia de alimentación (200mW), se decidió trabajar con loops cuadrados pequeños (15x15cm.), de tal manera que se lograra, una distribución de campo uniforme y fuerte en el centro de la antena. Aunque se alcanzaron buenos resultados con las antenas de 15x15 cm., no ocurrió lo mismo con la antena de loops cruzados (30x20cm.)

Las antenas de 15x15 cm., concentran el campo magnético, tal y como se esperaba, pero con la limitante del factor de calidad explicado en la sección anterior.

El problema que surge al tratar de aumentar el tamaño de la antena, es que el campo magnético tiene que distribuirse en un área mayor, disminuyendo así, la distancia efectiva para la cual, la tarjeta es activada. Lo anterior se puede comprobar, al utilizar la antena de loops rectangulares cruzados (30x20 cm.) paralelos.

Con este modelo, la potencia se tiene que distribuir por cada loop, haciendo que la potencia neta radiada por cada loop sea la mitad de la total. La forma como se dirigen el campo magnético también influye; como los dos loop están en paralelo, lo primero que se deduce es que la zona de radiación del campo magnético esta frente a cada loop, pero esto es una consideración errónea. Los campos magnéticos independientes de cada loop, se suman y forman una componente que esta dirigida hacia dos costados contrarios, de los cuatro que tiene (para mayor detalle de la forma en la antena, referirse al capítulo 5).

Aunque el rango de lectura de esta antena esta limitado mas o menos 6cm. con el lector del sistema de desarrollo, se logró un mayor rango de lectura (aproximadamente 18 cm.) con un lector de mayor potencia, con el cual fue posible realizar la medida. Esto prueba que la antena se desempeña mejor, al tener mayor potencia de alimentación.

Es aquí, en donde surge la necesidad de aumentar la potencia RF, que el lector entrega a la antena, para que así, aumenten sus prestaciones y se obtenga el beneficio más apreciable en este tipo de sistemas, el cual es el aumento de las distancias de lectura o escritura de las tarjetas sin contacto.

En busca de superar esta limitante, se diseña el sistema de desarrollo para que este preparado para manejar potencias superiores a la que actualmente se suministra. Es por esto, que se propone en las recomendaciones como una mejora para este trabajo de grado, la implementación de un amplificador de potencia (Clase E), que puede ser acoplado al lector actual. Como consecuencia, se diseña el hardware para que este capacitado para cambiar algunos elementos, para que soporten mayores corrientes de operación. El diseño específico del lector se puede revisar en el capítulo 4 de este libro. En el Anexo G se hace una descripción general del amplificador de potencia Clase E y las referencias donde se puede encontrar más información.

## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 7.2 CONCLUSIONES

- Se diseñó y construyó un sistema de desarrollo para un lector de tarjetas inteligentes sin contacto para alta frecuencia, el cual se comunica con el PC a través del puerto serial, usando el programa orientado a objetos VISUAL BASIC 6.0. De los componentes del sistema, se implementaron: el dispositivo lector y la antena junto con el software de comunicación entre la tarjeta sin contacto y el lector.
- En la programación del envío de datos, existen tres aspectos a saber, que se deben tener en cuenta para garantizar que la tarjeta responda a una petición, adecuadamente: la frecuencia de la señal de reloj entregada por el microcontrolador, la cual debe ser menor a la devuelta por el Transceiver; la forma de envío del conjunto de datos, que se debe hacer según el protocolo para los datos y según la guía de referencia del transductor de RF para la configuración de este y por último la inclusión del algoritmo de verificación de Redundancia Cíclica de los datos, dentro del mismo conjunto de bytes que se va a enviar a la tarjeta.
- El software de comunicación implementado permite ejecutar los comandos de: Inventario, Estado Reposo, Lectura de Bloque y escritura de bloque para una sola tarjeta, pero se puede lograr que el sistema sea más eficiente implementado un procedimiento de anticolidión para realizar lectura de varias tarjetas de manera

simultánea. Esto se propone como una mejora que se le puede hacer a este trabajo de grado.

- La certeza de que el lector lea o escriba bien una tarjeta a una determinada distancia, depende de: la potencia de salida del lector, la forma de la antena, la distancia a la cual se encuentra del lector y la intensidad del campo que pueda irradiar la antena para activar la tarjeta.
- La experiencia obtenida con el análisis teórico y experimental del circuito de antena, permite argumentar la gran importancia que tiene la parametrización de los elementos y el uso de instrumentos de medida confiables, utilizados en circuitos de este tipo, para obtener resultados comparables con los resultados teóricos.
- El factor de calidad medido para las antenas, no esta dentro del intervalo de valores, esperado para antenas en sistemas RFID; a pesar de ello los rangos de lectura que se alcanzan son buenos. Debido a esto, se puede decir, que al mejorar el factor de calidad, se pueden encontrar mayores rangos de lectura, para la potencia de Radiofrecuencia entregada por el lector que mejoren apreciablemente el desempeño del sistema de desarrollo.
- Se diseñaron tres modelos de antenas, con el objetivo de analizar el desempeño y el funcionamiento del circuito de antena de acuerdo a la forma, a la potencia de alimentación y la posible aplicación sobre la cual se puede enfocar, logrando con esto, que el sistema de desarrollo sea versátil.

- El trabajo con elementos de montaje superficial, aunque pocos, permitió ver que además de reducir en gran medida el tamaño de la tarjeta; la manipulación de estos, no es compleja y mucho menos si se tiene la disponibilidad del soldador de circuitos integrados de montaje superficial, existente en la Escuela de Ingenierías Eléctrica y Electrónica de la Universidad Industrial de Santander. Por otra parte se debe tener en cuenta que la tendencia de la tecnología esta llevado a utilizar cada vez más elementos de montaje superficial en los circuitos, por lo tanto es bueno que se empiece a familiarizar con ellos.
- La verificación de las señales DIN, DOUT, SCLOCK y M\_ERR las cuales comunican el microcontrolador con el integrado transductor de RF, permitiendo el envío y recepción de datos entre el lector y la tarjeta sin contacto, se facilitó por el uso del Analizador Lógico Tektronix perteneciente a la Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Universidad Industrial de Santander, logrando de esta manera detallar las señales para encontrar los fallos y corregirlos hasta lograr una transferencia de datos satisfactoria.
- El desarrollo del software para la comunicación entre el lector y la tarjeta sin contacto, utilizando el Entorno de Desarrollo Integrado Codewarrior fue satisfactorio, porque permitió realizar una programación más sencilla y rápida, al poder trabajar en un lenguaje de mediano nivel como lo es C.
- El sistema de desarrollo realizado, tiene características de desempeño y construcción similares a los de algunos dispositivos existentes en el mercado, con la ventaja de poseer un menor costo de fabricación.

## 7.2 RECOMENDACIONES

- Implementar en el software el procedimiento de anticolidión para que el sistema pueda leer varias tarjetas simultáneamente y otros de los comandos opcionales que soporta la tarjeta.
- Debido a que la velocidad a la cual opera, el microcontrolador con el cristal utilizado, es baja respecto a la velocidad del Transductor de RF, el protocolo de comunicación implementado no presenta la mayor eficiencia, por esta razón se plantea como mejora, optimizar el software de envío y recepción de datos hacia y desde la tarjeta, aumentando la velocidad de operación del microcontrolador utilizando un oscilador externo de mayor frecuencia; se recomienda probar con una frecuencia de 14.7456MHz.
- Para mejorar el desempeño del sistema de desarrollo, en lo que se refiere al rango de lectura, se propone diseñar un amplificador de potencia que se pueda incluir al hardware para mejorar el rango de lectura del lector. El anexo G presenta un modelo de amplificador, que se podría utilizar y las referencias donde se puede encontrar información más detallada.
- Incorporar al sistema de desarrollo otros dispositivos como memorias, pantalla de cristal LCD y teclado, que permita su uso portátil e independiente de un PC.
- Realizar otros diseños de antenas, con otros tipos de acoplamiento (acoplamiento con capacitancias, acoplamiento Gama y acoplamiento

T), para analizar características de desempeño en cuanto al rango de lectura y al funcionamiento del circuito de antena.

## BIBLIOGRAFIA

- Atmel Corporation [Online]. 2004. [Consultada Febrero 16-2004]. Available from Internet. <URL:<http://www.atmel.com/>>
  
- Aznar, Roca, Casals, Robert, Boris; Antenas. Capítulos 1, 2,3 y 4. Alfaomega. México 2000. Pág. 450.
  
- Compuclub; Teoría y práctica en microcomputadores. Capítulos 1, 2, 3. Santa fe de Bogotá 1993. Pág. 323.
  
- Hayt William/ Kemmerly Jack; Análisis de Circuitos en Ingeniería, Cáp. 6. McGraw-Hill. México 1999. International Organization for Standardization and International Electrotechnical Commission. Partes 1, 2, 3, 4.
  
- International Standard ISO/IEC 15693.switzerland 2000.
  
- Jorge Roberto Sosa Pegoza; Radiación Electromagnética y Antenas. Capítulos 1, 3 y 5. Limusa. México 1987.

- KLAUS FINKENZELLER. RFID Handbook. Libro Radio Frequency Identification Fundamentals and Applications. NEW YORK. 1999.
- Schildt Herbert; C Manual de referencia. Libro Mc Graw Hill. MADRID 1989. PAG-695
- Sedra Adel / Smith Kenneth; Circuitos Microelectrónicas, Cáp. 11, Oxford University Press. México 1999.
- Sophocles J. Orfanidis; Electromagnetic Waves Antennas. Capítulos 4, 9, 11 y 13. Rutgers University. Noviembre 2002.
- Texas Instrument [Online]. 2004. Available from Internet. <URL:<http://www.ti-rfid.com/tiris/docs>>.

## **ANEXOS**

### **ANEXO A**

#### **DESCRIPCIÓN DEL ANALIZADOR LÓGICO**

Es un dispositivo electrónico que permite analizar señales digitales en niveles TTL.

El analizador asemeja un sistema de cómputo con su procesador, memoria interna y periféricos tales como dispositivos de lectura de memorias externas y puertos de comunicación. Posee cuatro puertos, cada uno de los cuales dispone de dos buses de 8 datos y una señal de reloj independiente. Las líneas de datos pueden ser configuradas como entradas o salidas, pero para el caso de análisis todas fueron tomadas como entradas del analizador.

Además se dispone de un software de aplicación para el análisis y visualización de señales lógicas. Este software cuenta con una ventana de ajuste en la cual se configura la forma como van a ser tomadas las señales de entrada, se define la frecuencia de muestreo, el límite que separa un nivel alto de uno bajo, el número de señales que de acuerdo a la conexión van a ser muestreadas y la señal de disparo que servirá como inicio de la toma de datos. También permite obtener los datos de forma gráfica o tipo texto, siendo la primera la más utilizada debido a su facilidad para la medición de tiempos de sincronización.

El inicio de la adquisición de las muestras puede ser el resultado de una secuencia de instrucciones que se programan en la opción de configuración del trigger del analizador.

### **Características del analizador lógico TLA 700 - TEKTRONIX.**

- Mediciones de estado y tiempo simultáneas con las mismas sondas, que permiten conexiones más rápidas y fáciles con el sistema en prueba.
- Resolución en tiempo de 500 ps.
- Resolución de estampado de tiempo de 500 ps en las adquisiciones de estado.
- Resolución de disparo de 500 ps en las violaciones de tiempo de establecimiento y retención.
- Velocidades de adquisición hasta 200 MHz.
- Máximo 136 canales por módulo con una capacidad de 512 Kbits de memoria por canal.

Figura 49. Analizadores lógicos TLA-700 – TEKTRONIX.



Fuente: <http://www.tektronix.com>

### **Proceso de captura de las señales de comunicación entre el Microcontrolador y el Transceiver.**

Para garantizar una configuración correcta del Transceiver y un envío correcto de los datos hacia este, y al mismo tiempo visualizar la señal de

respuesta de la tarjeta, se hizo necesario analizar las 4 señales que comunican el microcontrolador con el Transceiver.

Para este análisis se uso solo 1 canal del analizador lógico, debido a que únicamente se tomaron las 4 señales de comunicación con el Transceiver (Sclock, Dout, Din, M\_ERR) y dos señales mas para observar la entrada al pin de interrupción externa IRQ del microcontrolador.

El tiempo de muestreo del analizador se ajustó a 500 ns, el cual aseguraba la captura y la visualización de todas las señales que eran emitidas por el microcontrolador. Esto permitió que se hiciera un estricto seguimiento de los paquetes de datos enviados al Transceiver y que se pudiera conocer con más exactitud el periodo de la señal de reloj, un parámetro de gran importancia para un correcto envío de datos. De igual forma, se apreciaban los datos generados por la tarjeta y la señal de reloj del Transceiver, cuando éste se encontraba ejecutando un comando.

Para iniciar la captura de señales por parte del analizador se dispuso de una señal de disparo que correspondía a un primer pulso en la línea de reloj, fijada por el microcontrolador, antes de enviar el byte de configuración, de esta manera se aseguraba una visualización completa de las señales de control y de datos desde el inicio de la configuración del Transceiver.

## ANEXO B

### DESCRIPCIÓN DEL ANALIZADOR DE ANTENA MFJ-259B



Figura 50. Analizador de Antena MFJ-259B

El analizador de antena es un equipo de medida que permite realizar una descripción completa del desempeño de una antena.

Este dispositivo electrónico combina cuatro circuitos básicos; un oscilador de frecuencia variable desde 1.8 – 170 MHz, un contador de frecuencia, un puente RF de 50  $\Omega$  y un microcontrolador.

Tiene un conector de antena tipo (SO-239) el cual es la conexión de salida para medidas de RF. Este puerto es usado para calcular el SWR y otras medidas de RF, excepto para en el contador de Frecuencia, ya que este tiene un puerto separado usado únicamente par realizar esta medida.

El MFJ-259B tiene dos modos de operación; un modo principal y un modo avanzado, que a su vez se dividen en 5 funciones. El modo principal tiene

las siguientes funciones: impedancia en coordenadas rectangulares, inductancia, capacitancia, perdidas por cable y contador de frecuencia; mientras que las funciones del modo avanzado son: impedancia en coordenadas polares, perdidas por retorno y coeficiente de reflexión, distancia de fallo, resonancia y eficiencia de transmisión.

Este instrumento puede ser usado para ajustar, verificar o medir los siguientes parámetros en relación con las antenas:

**Antenas:** SWR, impedancia, reactancia, resistencia, frecuencia de resonancia y ancho de banda.

**Sintonización de antenas:** SWR, ancho de banda y frecuencia.

**Circuitos Sintonizados:** Frecuencia de resonancia y factor de calidad aproximado.

Se habla de medida de factor de calidad aproximado, porque el equipo no mide directamente este parámetro, sirve como generador de señal para poder calcularlo por medio del ancho de banda.

Las unidades de las medidas que permite hacer el analizador de antena son: Longitud del cable (pies), Impedancia en coordenadas polares (grados), Impedancia en coordenadas rectangulares (ohmios), Resonancia (MHz), Perdidas por el cable (dB), Inductancia ( $\mu\text{H}$ ), Reactancia (ohmios), Señal de frecuencia (MHz), SWR (referenciado a  $50 \Omega$ )

El rango de impedancia que puede medir esta entre  $7$  y  $650 \Omega$  y el de inductancia entre  $0.1$  y  $60 \mu\text{H}$ .

Mide reactancia y luego la convierte según sea, en capacitancia o inductancia, si alguna de ellas tiene un valor menor que  $7$  los asume como cero.

## ANEXO C

### DESCRIPCIÓN DEL S6700 MULTI PROTOCOL TRANSCEIVER IC RI-R6C-001A

#### DESCRIPCIÓN GENERAL



Figura 51. S6700 Multi Protocol Transceiver IC RI-R6C-001A.

El S6700 Multi Protocol Transceiver IC es un dispositivo transductor de Radiofrecuencia (RF) que suministra funciones de recepción/ transmisión requeridas para comunicarse con una variedad de Tags que operan en la banda de 13.56MHz. El codificador del transmisor, convierte el flujo de datos transmitido dentro del protocolo de datos seleccionado, para el caso Protocolo ISO/IEC 15693. El decodificador del receptor convierte las señales de Radiofrecuencia en una simple cadena de datos. La comunicación con el circuito, la realiza por medio de tres vínculos seriales.

El transmisor puede suministrar hasta 200mW de potencia de Radiofrecuencia para una carga acoplada de 50 ohmios, con una alimentación de 5V, con posibilidad de incrementar esta potencia con una etapa de amplificación.

## DESCRIPCIÓN FUNCIONAL

Un diagrama de bloques simplificado del Transceiver IC es mostrado en la figura 52

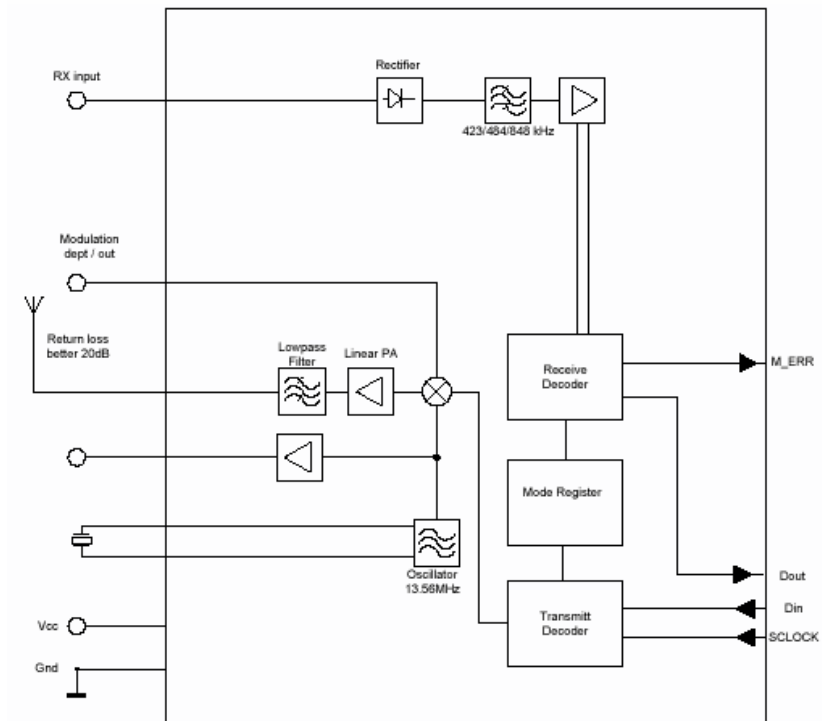


Figura 52. Diagrama de bloques simplificado.

Las diferentes partes electrónicas del IC se describen a continuación:

- **Suministro de Tensión:** Requiere un voltaje externo nominal de 5 V; pero su operación esta garantizado entre 3 V y 5.5 V. La corriente de drain depende de la impedancia de la antena y de la salida del acoplamiento de la configuración del circuito.
- **Transmisor:** La salida del transistor es un MOSFET bajo, el drain es conectado directamente al pin TX\_OUT. El 100% de modulación depth es alcanzado por medio de una onda cuadrada en la salida del transistor. El 10% de modulación se obtiene por medio de la variación de una resistencia que se coloca en serie con la salida del transistor,

incrementando el valor de la resistencia se incrementa la modulación depth.

- **Receptor:** La entrada del receptor es típicamente conectada a la antena a través de una resistencia externa. La modulación del tag es luego recuperada por medio de un diodo detector de envolvente, luego el decodificador del receptor emite los datos recibidos directamente al controlador en formato de datos binarios.
- **Oscilador interno:** El oscilador incorporado puede ser un cristal de cuarzo o un resonador cerámico; trabaja con una frecuencia de reloj nominal de 13.56MHz, pero el oscilador puede trabajar en un rango de 4MHz a 16MHz.
- **Interfaz de comunicación serial:** Utiliza tres vínculos seriales
  - SCLOCK, reloj serial, es bidireccional y la frecuencia que maneja es de 1.5MHz como máximo.
  - DIN, entrada de datos.
  - DOUT, salida de datos

Los comandos son enviados con el bit más significativo (MSB) en la primera posición y todas las señales son internamente sincronizadas con el reloj del sistema.

### DESCRIPCION DE PINES

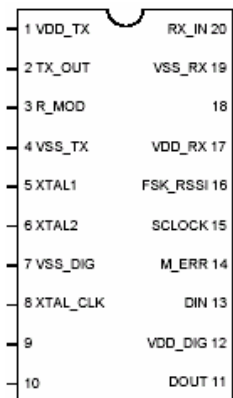


Figura 53. Pines del Transceiver.

#Pin	Nombre de la Señal	Descripción
1	VDD_TX	Alimentación del transmisor
2	TX_OUT	Conexión del drain a la salida del transistor
3	R_MOD	Resistor externo para fijar la modulación depth
4	VSS_TX	Tierra del transmisor
5	XTAL1	Pin 1 del resonador XTAL
6	XTAL2	Pin 2 del resonador XTAL
7	VSS_DIG	Tierra de la sección digital
8	XTAL_CLK	Salida del buffer del oscilador XTAL
9	No usado	Normalmente fijado a tierra
10	No usado	Normalmente fijado a tierra
11	DOUT	Salida de datos por vínculo serial
12	VDD_DIG	Alimentación de la sección digital
13	DIN	Entrada de datos por vínculo serial
14	M_ERR	Bandera de error del protocolo Manchester
15	SCLOCK	Señal de reloj
16	No usado	Normalmente no se conecta
17	VDD_RX	Alimentación del receptor
18	No usado	Normalmente no se conecta
19	VSS_RX	Tierra del receptor
20	RX_IN	entrada del receptor

Tabla 12. Lista de conexiones.

## PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN

El Transceiver IC puede manejar 4 protocolos; protocolo Tag-it, ISO/IEC 15693-2, ISO/IEC 14443-2 y el Modo directo donde los datos pueden pasar directamente al Tag; usando una correcta modulación, sincronización y estructura de comandos.

Una descripción de los protocolos RF ISO 15693 e ISO 14443, puede ser encontrada en la documentación pertinente ISO y el protocolo Tag-it es descrito en TI especificación 11-04-21-02.

## RESUMEN GENERAL Y ESTRUCTURA DE COMANDOS BÁSICOS

El protocolo usa un simple vínculo serial entre el Transceiver IC y un controlador remoto (microcontrolador) para transmitir y establecer datos.

Para cada comunicación el controlador remoto debe enviar un comando para ejecutar una secuencia apropiada. Un comando típico es estructurado como sigue: S1, 8 bits de comando, datos, ES1; más acciones pueden seguir un comando específico, pero enviando un S1 se inicializará una secuencia. Una secuencia está definida como todas las señales entre un S1 y el próximo S1.

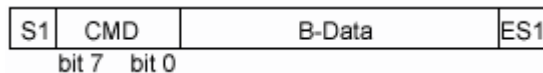


Figura 54. Estructura del comando.

S1	Start	1 Bit
CMD	Byte de Configuración	8 Bits
B-DATA	Datos binarios	X Bits depende del mensaje
ES1	stop	1 Bit

## DEFINICIONES

- **Start (S1):** está definido, como el inicio de la secuencia de comunicación entre el Transceiver IC y el controlador remoto. Este es una transición bajo-alto sobre la línea DIN mientras la señal SCLOCK

se mantiene en alto. Se conocerá de ahora en adelante como **Inicio de marco**.

- **Stop (ES1):** esta definido, como el fin de la secuencia de comunicación y es una transición alto-bajo sobre la línea DIN mientras la señal de reloj se mantiene en alto. Se conocerá de ahora en adelante como **Fin de marco**.
- Cada bit de dato es capturado por el flanco de subida de la señal SCLOCK, el valor del bit de dato, debe ser fijado y mantenido igual mientras la señal de reloj esta en alto.
- Los datos sobre la línea DIN pueden ser cambiados mientras la señal de reloj esta en bajo.

La figura 55 muestra un ejemplo de las definiciones planteadas:

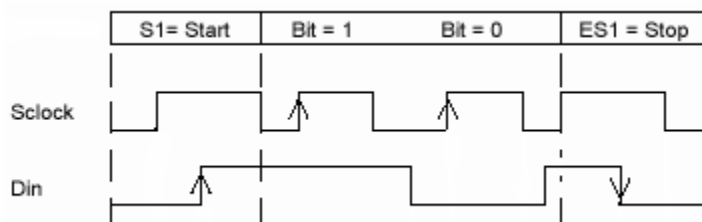


Figura 55. Definiciones.

## DEFINICIÓN DEL BYTE DE COMANDO

El byte de comando que configura el Transceiver IC esta definido en la Tabla 13.

#bit	Descripción	Función en alto nivel	Función en bajo nivel
7	Modo Bit	1= Modo Registro	0= Modo Normal
6	Tabla 2.3	El modo es seleccionado de acuerdo a la tabla 4 ISO 15693 (1 salida de 4)	
5	Tabla 2.3		
4	Tabla 2.3		
3	Modulación Depth	1 = 100%	0 = 10%
2	AM/FSK	1 = AM seleccionado	0 = FSK seleccionado
1	Rata de baudios	1= Rata de baudios alta de acuerdo al ISO 15693	1= Rata de baudios baja de acuerdo al ISO 15693
0	Paridad de primer byte	Paridad par	

Tabla 13. Definición del byte de Comando.

Bit #6	Bit #5	Bit #4	Definición
0	0	0	Modo directo
0	0	1	Protocolo Tag-it
0	1	0	ISO 15693 / down link 1 out of 4
0	1	1	ISO 15693 / down link 1 out of 256
1	0	0	ISO 14443 Modo A
1	0	1	Reservado
1	1	0	Reservado
1	1	1	Comandos de configuración Tabla 2.4

Tabla 14. Significado de los bits 4, 5 y 6.

Bit #7	Bit #6	Bit #5	Bit #4	Bit #3	Bit #2	Bit #1	Bit #0	Definición
0	1	1	1	0	0	0	1	Lectura del registro de Configuración
0	1	1	1	1	1	1	1	Escritura al Registro de Configuración
0	1	1	1	1	1	1	0	Apagado

Tabla 15. Comandos de configuración.

## COMANDO DE APAGADO DEL TRANSMISOR

Este comando puede ser construido con una secuencia S1, seguida por una secuencia ES1, o simplemente se puede enviar el comando de configuración Apagado, mencionado antes.

La secuencia de apagado del transmisor primero mencionada es la siguiente:

- Una transición bajo-alto de la señal SCLOCK.
- Una transición bajo-alto seguida por una transición bajo-alto de la línea DIN mientras la señal SCLOCK se mantiene en alto.
- Una transición de la señal SCLOCK bajo-alto.
- 

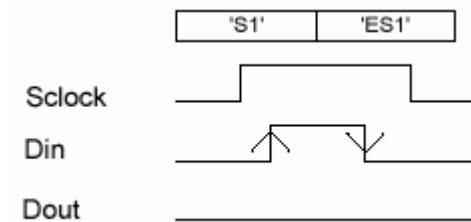


Figura 56. Ilustra el comando de apagado del transmisor.

El ancho del pulso en la línea DIN debe ser al menos de 1.2  $\mu$ s para seguridad del sistema y evitar una confusión entre un comando de apagado y un comando de inicio de secuencia (S1). No es necesario apagar el transmisor para enviar otro comando al Transceiver IC.

## COMANDO DE ENCENDIDO DEL LECTOR

El transmisor puede ser encendido con cualquiera de los comandos RF excepto por los comandos de configuración. El comando más rápido para

encender el lector es enviar un comando en modo registro sin datos, usando la secuencia: S1, 1, ES1.

## MODOS DE OPERACIÓN

### Modo Normal

El usuario envía un inicio de marco, los 8 bits del byte de comando, los datos y el fin de marco. La figura 57 representa el “Modo Normal”.

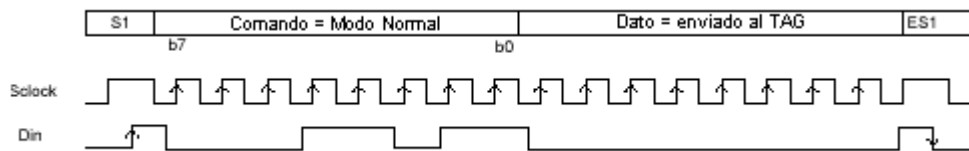


Figura 57. Modo Normal.

### Modo Registro

Este comando es solo un bit largo y no 8 bits largos como el Modo Normal. La configuración del Modo registro es previamente programada en el Transceiver IC usando el comando “Escritura al registro de configuración” (Tabla 58) mediante una comunicación anterior.

La figura 58 representa el comando en modo registro.

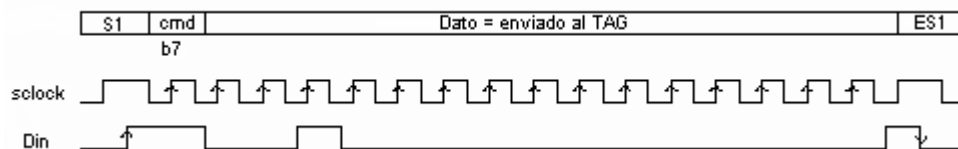


Figura 58: Modo registro

## ESCRITURA DE DATOS AL REGISTRO DE CONFIGURACIÓN

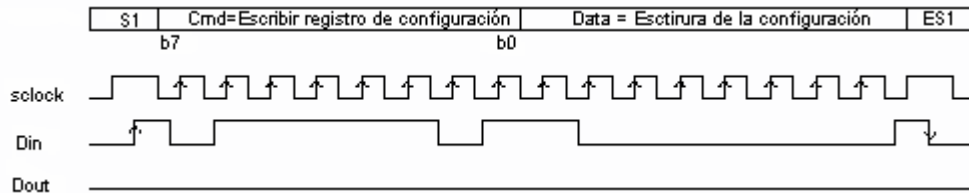


Figura 59. Escritura al registro de configuración.

La *figura 59* representa el comando “Escribir al registro de configuración”, los 8 bits del comando son 01111101, la cantidad de datos son también 8 bits largos. Después del fin de marco (ES1) un nuevo inicio de marco es esperado para empezar una nueva secuencia.

## COMUNICACIÓN

### Gerencia del FIFO

Debido a controlador remoto (microcontrolador) no puede controlar el tiempo de envío de datos al TAG (Tarjeta) el Transceiver IC debe almacenar los datos del microcontrolador, como la capacidad de almacenamiento es limitada la gerencia del buffer debe ser implementada. El buffer es implementado como un FIFO de 16 bits.

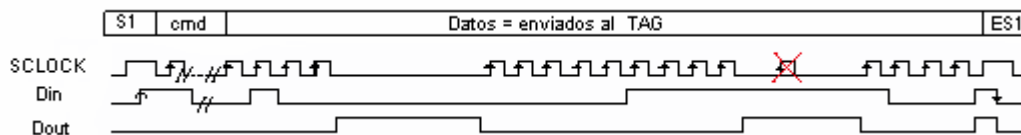


Figura 60. Gerencia del FIFO.

La *figura 60* muestra la gerencia del FIFO. El Transceiver IC indica que su buffer esta lleno y pide al microcontrolador que pare el envío de datos

elevando la línea DOUT, mientras la señal de reloj esta en bajo; el microcontrolador debe esperar hasta que la línea DOUT retorne al nivel cero para poder enviar mas datos. Mientras que la Dout este en un nivel 1, no es permitido enviar una señal de reloj en la línea SCLOCK.

La gerencia del FIFO será usado con los comandos “Modo Normal” y “Modo Registro”.

## PETICIÓN/RESPUESTA BASICA

DIN es siempre una entrada y DOUT es siempre una salida para el Transceiver IC, mientras que SCLOCK es una línea bidireccional, es entrada para el Transceiver cuando el microcontrolador envía una petición y salida de este cuando el microcontrolador obtiene una respuesta.

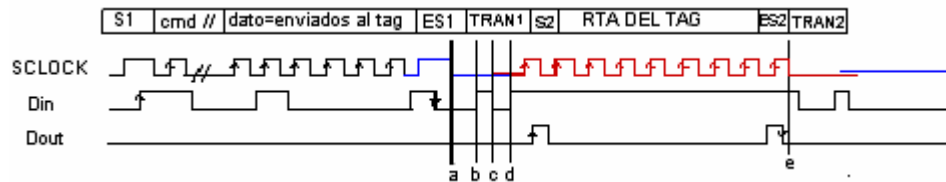


Figura 61. Petición/Respuesta básica.

S1, cmd// (Modo Normal o Modo Registro) y ES1 son enviados por el Transceiver IC, luego un inicio de marco (S2), seguido de un conjunto de datos y un fin de marco (ES2), son devueltos por el TAG por modulación en amplitud de la Portadora.

### Definición de TRAN1:

Durante este tiempo, el controlador da el control de la señal de reloj al Transceiver IC: DIN = 0

- Time a: El bit ES1 es finalizado.

- Time b: El controlador sube la línea DIN, para preparar un cambio de la señal de reloj o para preparar un fin de marco (ES1).
- Time c: DIN esta cayendo. El controlador definitivamente indica que le dará el control de la señal de reloj al Transceiver IC. SCLOCK se hace cero y ambos el controlador y el Transceiver son salidas.
- Time d: DIN sube mostrando que el controlador deja el control del bus hasta que DIN cae para pedir de nuevo el control del bus. En el tiempo d SCLOCK es todavía igual a cero, pero el pin SCLOCK del controlador es una entrada y el pin SCLOCK del Transceiver es una salida.

### **Definición del TRAN2**

En el intervalo de tiempo TRAN2, el controlador retoma el control de SCLOCK: DIN = 1. El controlador muestra su intención de recobrar el control de la señal de reloj fijando DIN en cero e inicializando un pulso sobre DIN; es durante este pulso que la línea SCLOCK cambia de dirección.

## ANEXO D

### VERIFICACIÓN DE REDUNDANCIA CÍCLICA (CRC)

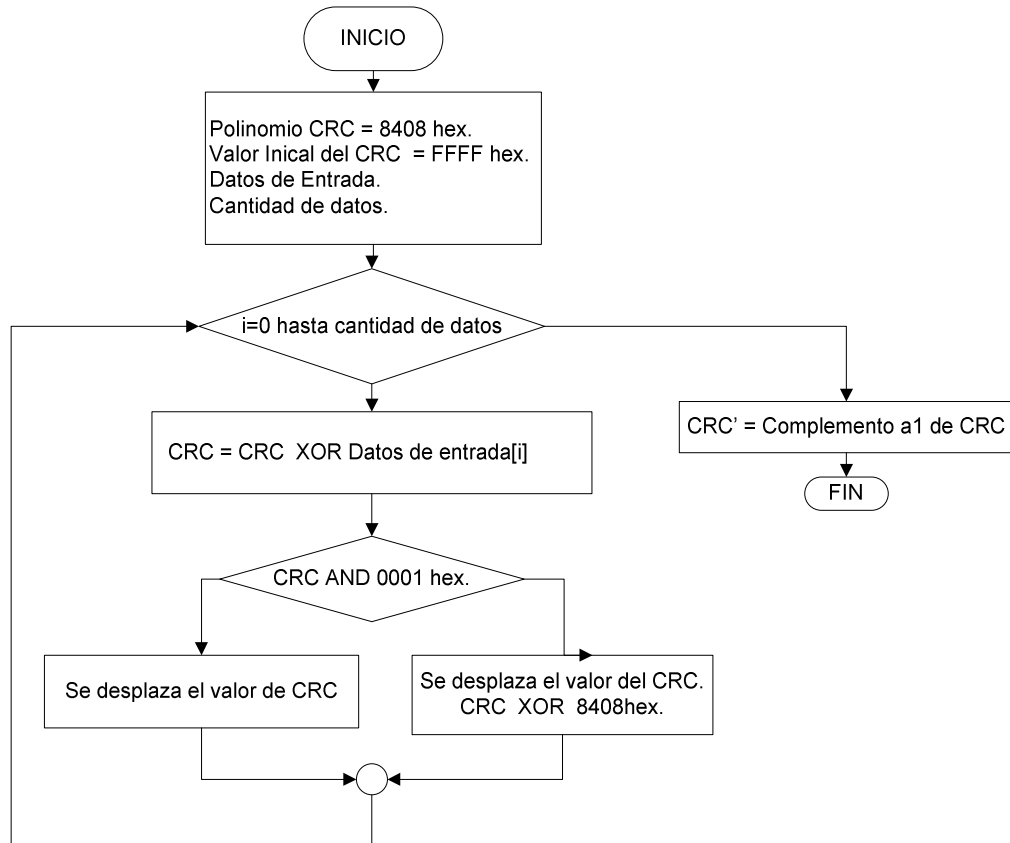


Figura 62. Diagrama de flujo del programa realizado para el cálculo del CRC.

La Verificación de Redundancia Cíclica es calculada solo para los datos contenidos en los paquetes transferidos entre el lector y la tarjeta; al valor calculado se le saca el complemento a1 y este resultado se anexa al final del paquete ubicando primero el byte menos significativo.

El polinomio y el valor inicial utilizado para el cálculo del CRC son:

- Polinomio CRC =  $X^0 + X^5 + X^{12} + X^{16} = 1000 - 0100 - 0000 - 1000 - (1) = 8408_{(\text{hex.})}$

- Valor inicial =  $FFFF_{(\text{HEX.})}$

Este tipo de polinomio se conoce CRC CCITT-16, tiene como característica, que el lector lo aplica tanto a los datos que envía, como a los que recibe.

## **ANEXO E**

### **DESCRIPCIÓN DE LA INTERFAZ GRAFICA REALIZADA EN VISUAL BASIC**

Para poder visualizar los resultados de los diferentes comandos que se implementan en el lector y para hacer más amigable el manejo de los paquetes de datos; el envío y la recepción de datos, hacia y desde el lector, se realiza mediante una interfaz grafica realizada en visual Basic.

La interfaz permite escoger el comando que se va a enviar; decidir si va direccionado o no direccionado; escoger el bloque de memoria que se va a leer o a escribir; digitar los datos que se van a grabar en la tarjeta, para el caso del comando de escritura de un bloque; mostrar los datos leídos para el caso del comando de lectura de un bloque; visualizar todos los paquetes de datos completos que se envían y reciben, además de los mensajes programados con respecto al funcionamiento del lector.

Mediante la propiedad MSComm de Visual Basic se hace transferencia de datos de manera serial desde y hacia el microcontrolador. Esta propiedad se configuro para que envíe y reciba por el puerto com1, a una velocidad de 19200 baudios, sin paridad, 8 bits de datos y un bit de parada.

La figura 63 presenta el diagrama de flujo del Programa.

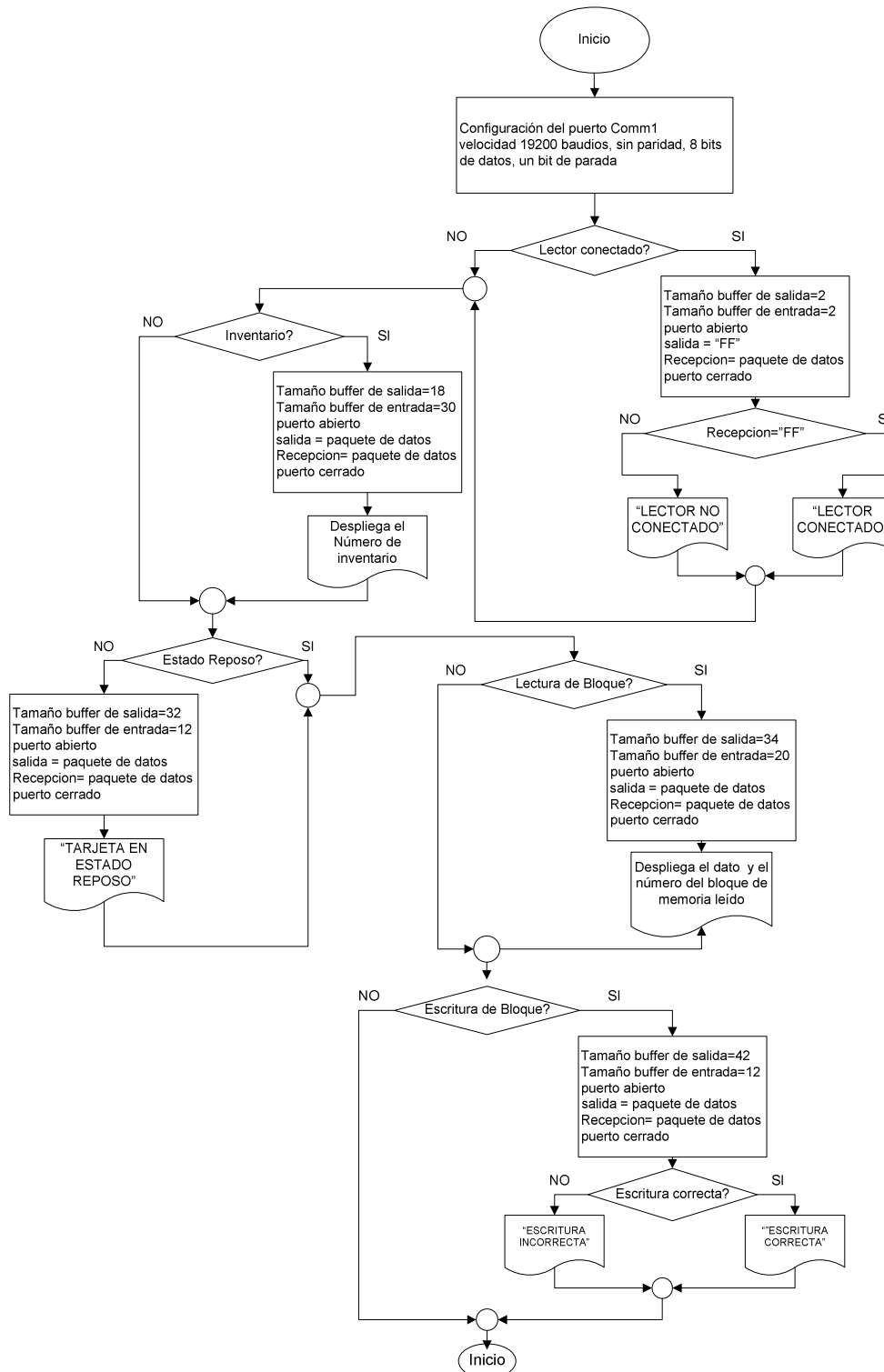


Figura 63. Diagrama de flujo del programa de adquisición de Visual Basic.

Aquí se presenta una breve guía de cómo usar la interfase gráfica.

- **Lector Conectado:** En este modo, se verifica si el lector esta conectado o no, al señalar el vínculo de **Enviar**. Este vínculo se debe activar para cualquier comando que se desee ejecutar.

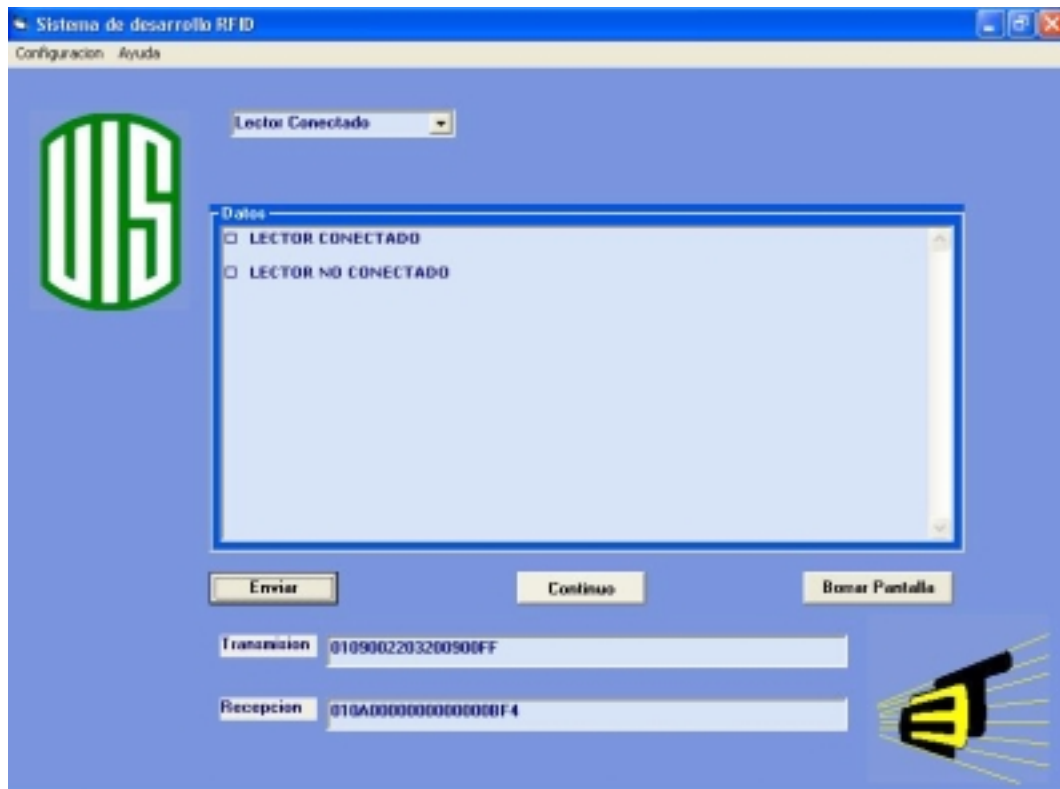


Figura 64. Modo de lector conectado

- **Inventario:** Cada vez que se utiliza este comando, muestra el número de inventario que tiene cada tarjeta. Este número es inalterable y esta grabado de fabrica.

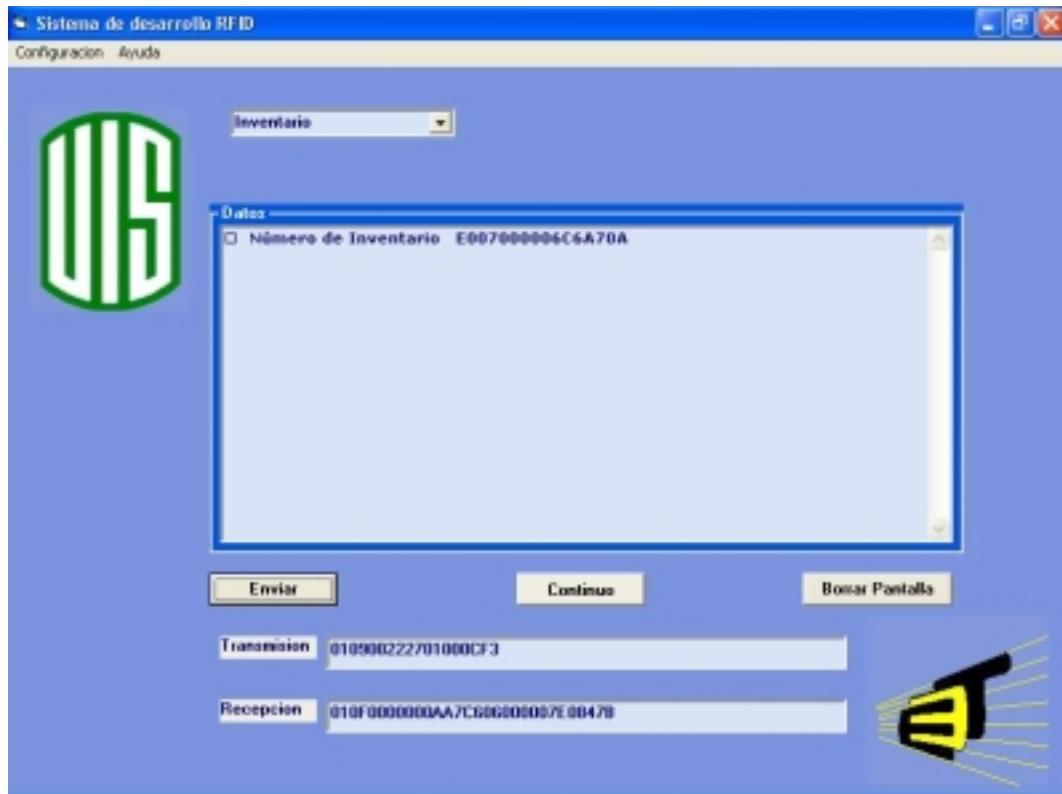


Figura 65. Comando de Inventario

- **Estado de Reposo:** Este funciona tal y como se explica en la sección 6.3.3. Cada vez que se utiliza, debe estar direccionado a una tarjeta en particular, con su número de inventario. Si no especifica dirección, este campo se llena con ceros.

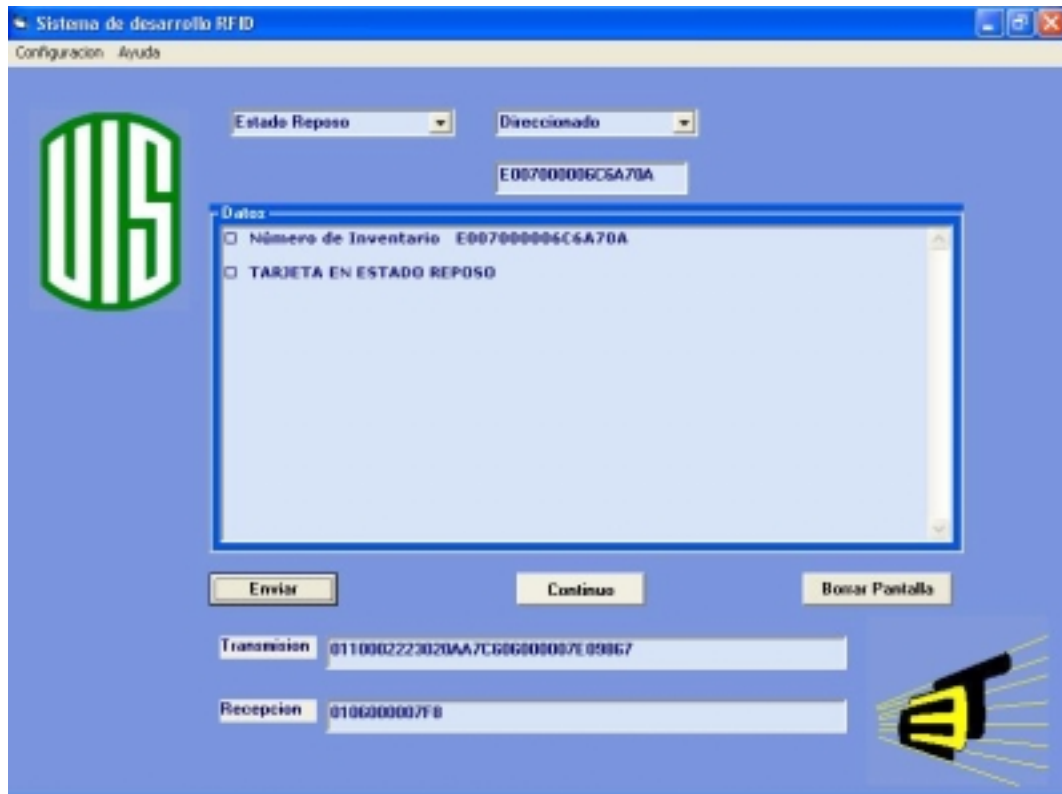


Figura 66. Comando de Estado de Reposo

- **Lectura de Bloque:** Aquí se escoge el bloque a leer (00-63). Siempre se debe señalar si se va a leer direccionado o no direccionado.

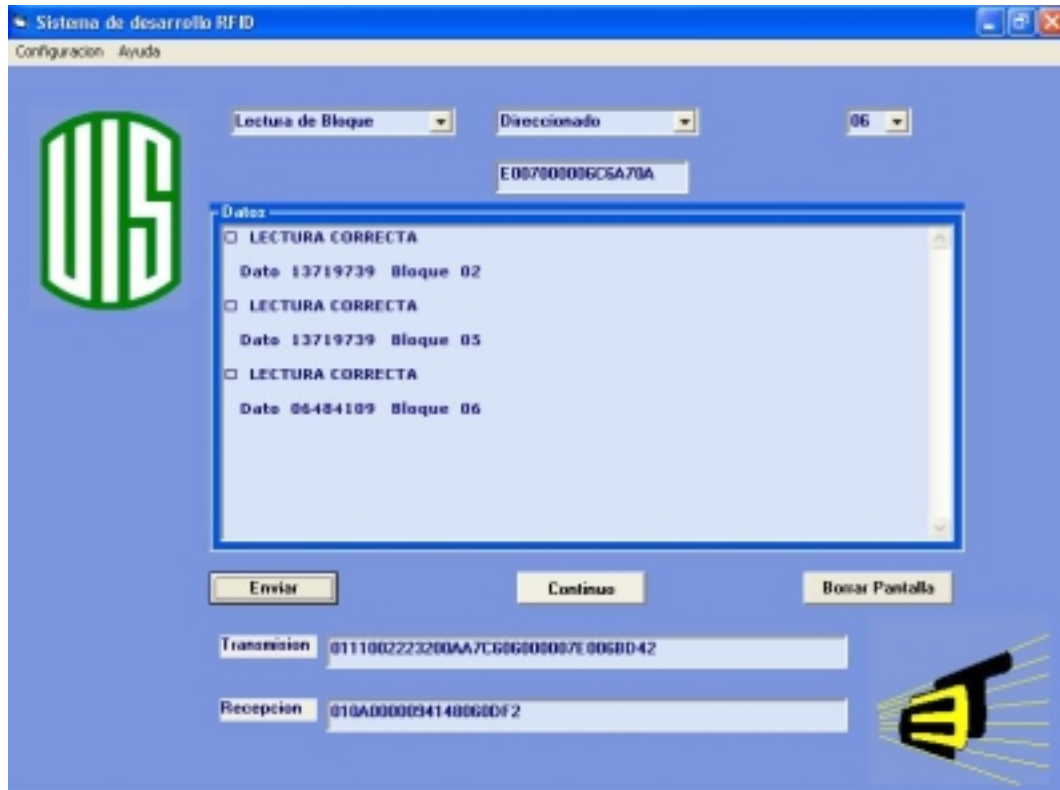


Figura 67. Comando de Lectura de Bloque

- **Escritura de Bloque:** Se escoge el bloque a escribir y se digita el dato en el espacio que aparece debajo de el número de bloque. Al igual que en la lectura, se tiene la opción de ejecutarlo en modo direccionado o no direccionado

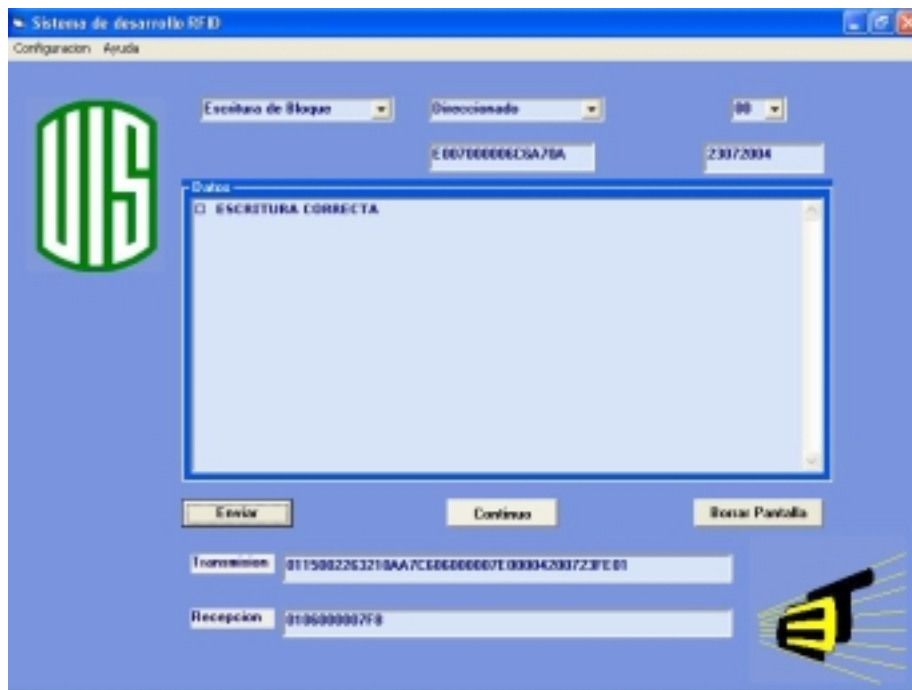


Figura 68. Comando de Escritura de Bloque

## ANEXO F

### MODELO DEL AMPLIFICADOR DE POTENCIA CLASE E

Debido a la limitación en el nivel de potencia RF entregado por el lector (200mW), es necesario amplificar la potencia de salida, si es que se quiere tener un lector capaz de tener conectadas antenas más grandes y a una mayor distancia de este. Es por esto que el sistema de desarrollo se diseñó de tal forma que tenga la opción de acoplarse un amplificador de potencia. El modelo de amplificador que se recomienda es el Clase E ya que además de ser adecuado, para el tipo de modulación con el que se está transmitiendo la señal, presenta un nivel de alta eficiencia, factor importante cuando se decide por algún modelo en particular.

Su modo de operación consiste básicamente en un transistor que opera como un switch (on-off).

El circuito básico se muestra en la figura 69

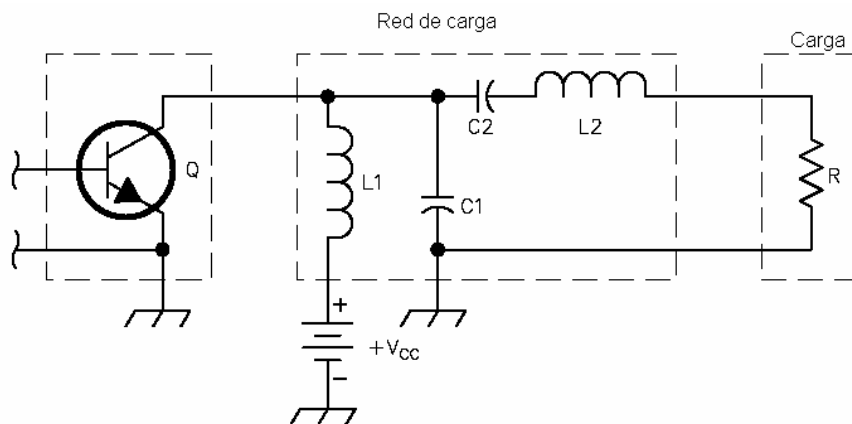


Figura 69 Amplificador Clase E

Las ecuaciones pertinentes a este modelo se encuentran en el paper Nathan O. Sokal and A. D. Sokal, "High-Efficiency Tuned Switching Power Amplifier,". Este documento está anexo en el CD.

**ANEXO G**

**SISTEMA DE DESARROLLO PARA UN LECTOR DE TARJETAS INTELIGENTES SIN CONTACTO DE ALTA FRECUENCIA TERMINADO.**

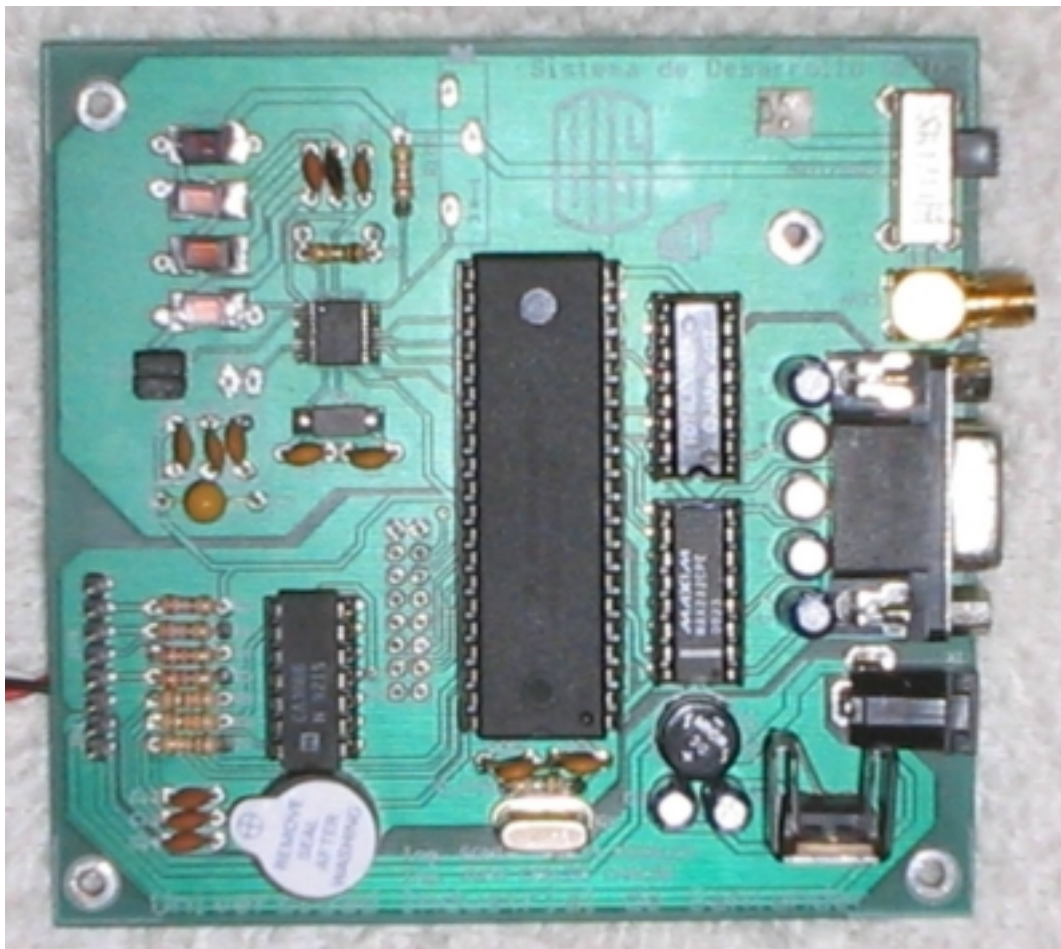


Figura 70. Tarjeta del Lector.

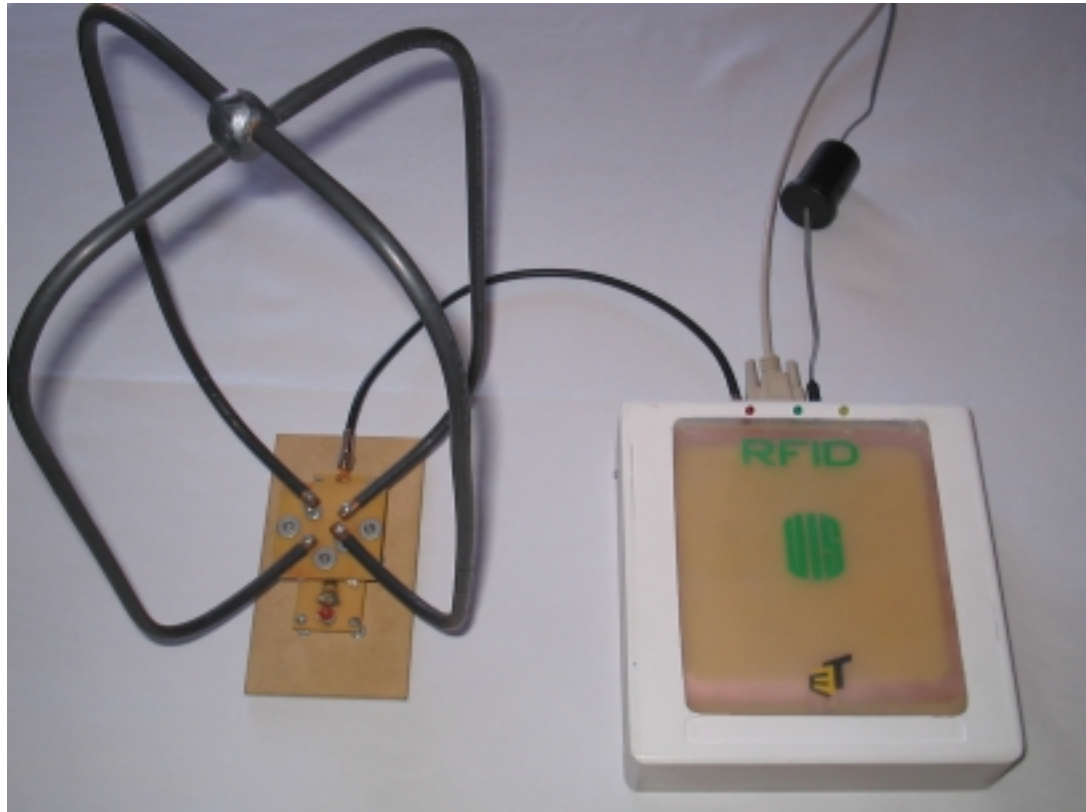


Figura 71. Sistema de Desarrollo terminado.