

**ESPECIFICACIONES PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA BASADO EN LA TECNOLOGÍA
RFID, PARA LA ADMINISTRACIÓN DE LOS SERVICIOS DE IDENTIFICACIÓN, REGISTRO Y
PRÉSTAMO DE LIBROS EN LA BIBLIOTECA “JOSE MARIA SERRANO” DE LA UNIVERSIDAD
DEL CAUCA**



Trabajo Final

**ANDREA SILVANA SATIZABAL
JUAN CARLOS VIVEROS GÓMEZ**

Director: Ing. Edgar Ortiz L.

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
Departamento de Telecomunicaciones
Popayán, 2009**

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
1 INTRODUCCION A LOS SISTEMAS DE AUTO IDENTIFICACIÓN	3
1.1 SISTEMAS DE AUTO ID.....	3
1.1.1 Código de Barras	3
1.1.2 Sistemas de Identificación por RF.....	4
1.2 COMPARACION ENTRE EL CODIGO DE BARRAS Y LOS SISTEMAS RFID.....	4
2 INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS RFID	6
2.1 SISTEMAS DE IDENTIFICACIÓN POR RADIO FRECUENCIA	6
2.1.2 Componentes de un Sistema RFID.....	6
2.1.3 Clasificación de los Sistemas RFID	7
2.1.3.1 Según el tipo de etiqueta	7
2.1.3.2 Según la frecuencia de trabajo.....	8
2.1.3.3 Según su capacidad de programación.....	8
2.1.3.4 Según el protocolo de comunicación	9
2.1.3.5 Según el mecanismo de comunicación	9
2.2 ETIQUETA	10
2.2.1 Elementos de una Etiqueta de Radiofrecuencia [1][4]	10
2.3 RANGOS DE FRECUENCIA	11
2.4 CÓDIGO ELECTRÓNICO DEL PRODUCTO EPC	12
2.4.1 Clasificación de las etiquetas según el EPC	13
2.5 LECTOR.....	13
2.5.1 Componentes Físicos de un Lector de RF	14
2.6 TÉCNICAS DE ANTICOLISIÓN O MULTIACCESO	16
2.7 ORGANISMOS Y ESTÁNDARES	17
2.7.1 Estándares	17
2.7.1.1 Estándares ISO.....	18
2.7.1.2 Estándares de la EPCglobal.	19
2.7.2 Estándares y Regulaciones en Colombia.....	20
2.8 APLICACIONES: MODO DE OPERACIÓN DEL MCRF 360 DE MICROCHIP.....	20
2.8.1 Técnica de Anticolisión	22
2.9 MECANISMOS DE ACOPLAMIENTO	22
2.9.1 Acoplamiento Inductivo	23
2.9.1.1 Clasificación de los sistemas acoplados inductivamente	24
2.9.1.2 Acoplamiento Electromagnético.....	24
2.9.1.3 Acoplamiento Cercano	26
2.10 EFECTOS DE LA COMUNICACIÓN ENTRE EL LECTOR Y EL TRANSPONDEDOR	26
2.11 COMPORTAMIENTO DE LAS ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS FRENTE A LOS OBJETOS	27
2.12 DISEÑO BÁSICO: SISTEMA INDUCTIVO.....	27
3 SIMULACIÓN, PRUEBAS Y RESULTADOS	33
3.1 HERRAMIENTAS DE SIMULACIÓN.....	33
3.2 MODELO GENERAL DE SIMULACIÓN	34
3.3 RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN CON EL IISIM.....	35

3.3.1	Análisis Gráfico	37
3.3.1.1	Modelo de referencia. Intensidad de campo magnético del lector	38
3.3.1.2	Intensidad de campo magnético de la señal del transpondedor	38
3.3.1.3	Relación señal portadora en la antena del lector	39
3.3.1.4	Relación señal a ruido en el transmisor	39
3.3.1.5	Fuentes de interferencia	40
3.3.2	Escenario 1. Variación de la Intensidad de Campo.....	44
3.3.2.1	Intensidad de Campo Magnético del Dispositivo Lector.....	45
3.3.2.2	Intensidad de campo magnético de la señal del transpondedor.	45
3.3.2.3	Relación señal portadora	46
3.3.2.4	Relación señal a ruido externa.....	46
3.3.2.5	Relación señal a ruido en el transmisor	46
3.3.2.6	Rango de Lectura.....	48
3.3.3	Escenario 2. Dimensiones de la Antena del Transpondedor.....	49
3.3.3.1	Distancia de lectura modificando las dimensiones del transpondedor	51
3.3.3.2	Intensidad de campo del lector	51
3.3.4	Escenario 3. Variación del Factor de Calidad	51
3.3.4.1	Intensidad de campo del lector y del transpondedor.....	53
3.3.4.2	Rango de lectura modificando el factor de calidad.....	54
3.4	SIMULACIÓN CON LA HERRAMIENTA WinIQSIM	54
3.4.1	Visión General de la Interfaz de Aire.....	54
3.5	RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN	54
3.5.1	Escenario1. Estándar EPC.....	55
3.5.2	Componente en Fase y en Cuadratura para un Canal Ideal	55
3.5.3	Diagrama de Ojo en I y Constelación para un Canal de Transmisión Ideal	56
3.5.4	Diagrama en Fase, de Ojo en I y de Constelación con Filtro	56
3.5.5	Diagrama de Ojo y Constelación bajo Ruido Blanco Gaussiano.....	57
3.5.6	Patrón en fase, Ojo y Constelación Modificando la Relación Energía a Bit	58
3.6	ESCENARIO 2. SIMULACIÓN BAJO EL ESTÁNDAR ISO 15693.....	60
3.6.1	Diagrama de ojo y constelación para un canal ideal	61
4	DISEÑO DEL SISTEMA Y SELECCIÓN DE DISPOSITIVOS RFID PARA LA BIBLIOTECA JOSÉ	
	MARIA SERRANO	64
4.1	SISTEMA DE IDENTIFICACIÓN E INFRAESTRUCTURA DE LA BIBLIOTECA SERRANO .	64
4.1.1	Sistema de Clasificación Dewey	64
4.1.2	Ubicación del Sistema de Identificación Barcode.....	64
4.1.2.1	Estaciones Fijas.....	64
4.1.2.2	Lector Portátil.....	66
4.1.2.3	Estaciones de seguridad.....	66
4.1.3	Descripción de los Dispositivos.....	67
4.1.3.1	Escáner Symbol Hot Shot LS 21003.....	67
4.1.3.2	Lector de mano inalámbrico Symbol LS 42783.....	67
4.1.4	Descripción de los Procesos	68
4.1.4.1	Préstamo.....	68
4.1.4.2	Devolución	69
4.1.4.3	Registro	69
4.1.5	Comparación de la Tecnología RFID con el Código de barras en la Biblioteca Serrano	70
4.2	DISEÑO DEL SISTEMA RFID	71
4.2.1	Propuesta del Sistema RFID.....	71

4.2.2	Descripción del Sistema.....	72
4.2.2.1	Estaciones Fijas	72
4.2.2.2	Lector portátil	73
4.2.3	Descripción de Dispositivos	74
4.2.3.1	Etiquetas	75
4.2.3.2	Lector RF S6700	75
4.2.3.3	Antena RI-ANT-T01A	76
4.2.3.4	LECTOR MOVIL HF PA 600.....	76
4.2.3.5	Router Inalámbrico.....	77
4.2.3.6	Lector Multi-tag Long Range.....	78
4.2.3.7	Antena portal OBID i-scan Long –range	79
4.2.4	Descripción de los Procesos o Servicios.....	79
4.2.4.1	Préstamo.....	79
4.2.4.2	Identificación	80
4.2.4.3	Devolución	80
4.2.4.4	Registro o inventario	80
4.2.4.5	Antihurto.....	80
5	ESPECIFICACIONES , RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES.....	82
5.1	ESPECIFICACIONES Y RECOMENDACIONES DE DISEÑO	82
5.1.1	Selección de la Frecuencia de Operación.....	82
5.1.2	Maximización del Factor de Calidad del Circuito Sintonizado	83
5.1.3	Selección de la Intensidad de Campo Magnético	84
5.1.4	Decrecimiento del Campo Magnético con el Cubo de la Distancia	84
5.1.5	Selección del Rango de Activación y Lectura	85
5.1.6	Selección de las Dimensiones de la Antena del Transpondedor	85
5.1.7	Sintonización de los circuitos LC a la Frecuencia Portadora del Lector.....	86
5.1.8	Utilización de Técnicas de Anticolisión y Escritura.....	87
5.1.9	El Ruido AWGN y el Acoplamiento no Deseado	87
5.1.10	Obstáculos entre el Lector y el Tag.....	87
5.1.11	Orientación de la Antena del Transpondedor.....	88
5.1.12	El número de amperios vuelta determina el rango de lectura	88
6	CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS	90
6.1	Conclusiones.....	90
6.2	Trabajos Futuros.....	91
	BIBLIOGRAFIA	92

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Componentes básicos de un sistema RFID [7]	7
Figura 2.2. Componentes de una etiqueta RFID [6].	10
Figura 2.3. Estructura de una etiqueta RFID [1].	11
Figura 2.4. Código EPC de 96 bits [10].	13
Figura 2.5. Diagrama en bloques de un lector básico [1]	14
Figura 2.6. Diagrama en bloques de un lector de RF [1].	15
Figura 2.7. Diagrama en bloques del módulo microprocesador de un lector [1].	16
Figura 2.8. Capacidad de las etiquetas para transmitir la señal sin colisiones [1].	16
Figura 2.9. Circuito MCRF 360 de Microchip.	21
Figura 2.10. Técnica de anticolisión utilizado por el MCRF 360 [16].	22
Figura 2.11. Diagrama de un sistema acoplado inductivamente [1]	23
Figura 2.12. Principio físico de un sistema RFID acoplado inductivamente [1].	24
Figura 2.13. Bandas laterales generadas por la modulación de carga con subportadora.	25
Figura 2.14. Funcionamiento de un sistema RFID pasivo en modo backscatter [1].	25
Figura 2.15. Comunicación de un sistema RFID en la banda de microondas [1][4].	27
Figura 2.16. Transpondedor MCRF 355 de Microchip con dos bobinas en serie L1 y L2 [16].	28
Figura 2.17. Representación de una antena lazo rectangular de una vuelta.	30
Figura 3.1. Circuito equivalente de un transpondedor para el IISIM.	34
Figura 3.2. Intensidad de campo magnético del lector en función de la distancia	38
Figura 3.3. Intensidad de campo magnético del transpondedor para el modelo de referencia	40
Figura 3.4. Relación señal portadora del transpondedor en las bandas laterales.	41
Figura 3.5. Relación señal a ruido en el transmisor.	42
Figura 3.6. Relación señal a ruido causado por señales de interferencia externas.	43
Figura 3.7. Relación señal a ruido causado por fuentes de ruido externo.	44
Figura 3.8. Intensidad de campo magnético del lector en función de la distancia de lectura.	45
Figura 3.9. Intensidad de campo magnético de la señal del transpondedor.	47
Figura 3.10. Relación señal portadora del transpondedor.	48
Figura 3. 1. Relación señal a ruido con intensidad de 27 dBu.	49
Figura 3.12. Relación señal a ruido transmisor con intensidad de campo de 27 dBu.	50
Figura 3.13. Intensidades de campo modificando las dimensiones de la antena de tag	52
Figura 3.14. Intensidades de campo modificando el factor de calidad.	53
Figura 3.15. Componente en fase y en cuadratura en un canal ideal.	56
Figura 3.16. Aspecto de una señal ASK sin filtro en un canal ideal	57
Figura 3.17. Diagrama en fase $i(t)$ con filtro de coseno en un canal ideal.	57
Figura 3.18. Diagramas de una señal ASK para un canal ideal con filtro.	58
Figura 3.19. Enlace digital con E_b/N_0 de 15 dB perturbado por ruido AWGN.	59
Figura 3.20. Enlace con E_b/N_0 de 11 dB bajo el efecto de ruido y función filtro	60
Figura 3.21. Enlace digital bajo el ISO 15693 en condiciones ideales	61
Figura 3.22. Enlace con E_b/N_0 15 dB bajo el efecto del ruido AWGN	62
Figura 4.1. Distribucion del sistema barcode en el área seleccionada de la biblioteca Serrano	65
Figura 4.2. Lector de Código de Barras Symbol LS 2100 del área de Reserva	65
Figura 4.3. Lector portátil de código de barras Symbol LS 4278	66
Figura 4.4. Portal Sensormatic para lectura de etiquetas EAS.	66
Figura 4.5. Ficha del estudiante	68
Figura 4.6. Banda magnética para desactivar etiquetas EAS	69

Figura 4.7. Dispositivo activador del sensor magnético EAS	69
Figura 4.8. Configuración básica de un sistema RFID para la biblioteca José Maria Serrano	72
Figura 4.9. Estructura de la etiqueta Tag-it [40]	73
Figura 4.10. Circuito lector S6700 [42]	75
Figura 4.11. Antena externa acoplada al lector de TI [44]	76
Figura 4.12. Lector móvil HF PA600 [45].....	77
Figura 4.13. Conversión de estaciones fijas a estaciones portables	78
Figura 4.14. Lector multitag de largo alcance.....	78
Figura 4.15. Antena portal OBID i-scan Long-range [47].....	79
Figura 5.1. Mecanismos de acoplamiento [1].....	83
Figura 5.2. Distancia de activación en función de la sintonización.....	86
Figura 5.3. Representación de un sistema de comunicaciones digital.	87
Figura 5.4. Acoplamiento óptimo entre antenas.	88

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1. Organismos de regulación de la tecnología RFID.	12
Tabla 2.2. Organismos de regulación de la tecnología RFID.	17
Tabla 2.3. Formatos para tarjetas de identificación bajo el ISO/ IEC 7810	19
Tabla 2.4. Efecto de algunos materiales respecto a la señal radio	27
Tabla 2.5. Distancia de penetración de la onda para algunos elementos [49]	32
Tabla 3.1. Descripción de las herramientas de simulación.....	34
Tabla 3.2. Parámetros de configuración del simulador IISIM	36
Tabla 3.3. Parámetros del <i>tag</i> y del lector. La distancia activación para los casos de tolerancia.....	36
Tabla 3.4. Máximo rango de lectura afectado por ruidos e interferencias.	37
Tabla 3.5. Distancia máxima de activación.	44
Tabla 3.6. Máximo rango de lectura determinado por las relaciones señal a ruido.....	49
Tabla 3.7. Rango de activación con dimensiones de antena 0.038 X 0.022.	50
Tabla 3.8. Rango de lectura máximo en presencia de ruido con dimensiones 0.038 X 0.022	51
Tabla 3.9. Rango de activación con factor de calidad de 100.	52
Tabla 3.10. Rango de lectura máximo en presencia de ruido con factor de calidad de 100.	54
Tabla 4.1. Características básicas del escáner Symbol Hot Shoot LS2100 [38].....	67
Tabla 4.2. Características básicas del escáner Symbol LS 4278 [39].....	68
Tabla 4.3. Comparación entre el código de barras y un sistema RFID.	71

GLOSARIO DE ACRÓNIMOS

ASCII: American Standard Code for Information Interchange (Código Estadounidense Estándar para el Intercambio de Información).

Auto ID: Automatic Identification (Sistemas de Identificación Automático)

AP: Acces Point (Punto de Acceso)

ASK: Amplitude Shift Keying (Modulación Digital por Cambios de Amplitud)

AWGN: Additive White Gaussian Noise (Ruido Blanco Aditivo Gaussiano)

BER: Bit Error Rate (Tasa de Error de Bit)

BPSK: Binary Phase Shift Keying (Modulación Digital por Cambio de Fase)

CEPT: Conference European of Postal and Telecommunications Administrations (Conferencia Europea de Administración de Correos y Telecomunicaciones)

CRC: Code Redundant Cyclic (Código de Redundancia Cíclica)

DC: Direct Current (Corriente Directa)

DoD: Departamento de Defensa de los EEUU.

DOS: Disk Operative System (Sistema Operativo de Disco)

EAN: European Article Numbering (Numeración del Artículo Europeo)

EAS: Electrónica Article Surveillance (Vigilancia Electrónica de Artículos)

EEPROM: Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory (Memoria de Sólo Lectura Programable y Borrable Eléctricamente)

ETSI: European Telecommunications Standards Institute (Instituto de Estándares de Telecomunicaciones Europeo)

EPC: Electronic Product Code (Código Electrónico del Producto)

FCC: Federal Communications Commission (Comisión Federal de Comunicaciones)

FHSS: Frequency Hopping Spread Spectrum (Espectro ensanchado por salto de frecuencia)

FDMA: Frequency Division Multiple Access (Acceso Múltiple por División de Frecuencia)

FDx: Full Duplex (Comunicación Bidireccional)

FEM: Fuerza Electromotriz

FRAM: Ferroelectric Random Access Memory (Memoria de Acceso Aleatorio Ferroeléctrico)

FSK: Frequency Shift Keying (Modulación Digital por Cambios de Frecuencia)

HF: High Frequency (Alta Frecuencia)

HDx: Half Duplex (Semidúplex)

IEC: International Electrotechnical Commission (comisión Electrotécnica Internacional)

IFF: Identification Friend or Foe (Sistema de Identificación electrónico Amigo o Enemigo mediante Radio)

IISIM: (Inductive Identification Simulation) Simulador de Sistemas de Identificación Inductivo

ISI: Inter-Symbol Interference (Interferencia Inter-Símbolos)

ISM: International Scientific and Medical Band (Banda de Frecuencias Internacional para aplicaciones Industria, Científica y Médica)

ISO: International Organization for Standardization (Organización para la Estandarización Internacional)

ITM: Identifier Tag Memory (Memoria de Identificación del Tag)

ITU: International Telecommunication Union (Unión Internacional de Telecomunicaciones)

ITU-R: International Telecommunication Union Radiocommunication (Unión Internacional de las Telecomunicaciones para las Radiocomunicaciones)

LASER: Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (Amplificación de Luz por Emisión Estimulada de Radiación)

LF: Low Frequency (Baja Frecuencia)

LSB: Low Side Band (Banda Lateral Inferior)

LSB: Least Significant Bit (Bit Menos Significativo)

MIT: Massachusetts Institute of Technology (Instituto Tecnológico de Massachusetts)

MSB: Most Significant Bit (Bit Más significativo)

OE: Onda Electromagnética

OOK: On-Off Keying (Modulación Encendido y Apagado)

OSR: Optical Character Recognition (Reconocimiento Óptico de Caracteres)

PDS: Procesamiento Digital de Señales

PIRE: Potencia Isotrópica Radiada Equivalente

PSK: Phase Shift Keying (Modulación Digital por Cambio de Fase)

PRBS: Pseudorandom binary sequence (Secuencia Binaria Pseudoaleatoria)

RAM: Random Acceso Memory (Memoria de acceso aleatorio)

RF: Radio Frequency (Radio Frecuencia)

RO: Read Only Memory (Memoria de solo Lectura)

ROM: Memoria ROM (Memoria de solo lectura)

RW: Read- Write Memory (Memoria de Lectura y Escritura)

SIM: Subscriber Identify Module (Módulo de Identificación del Suscriptor)

SMP: Standard multi-tag Protocol (Estándar multi etiquetas)

UCC: Uniform Code Council (Consejo de Codificación Uniforme)

UPC: Universal Product Code (Código Universal del Producto)

RFID: Radio Frequency Identification (Identificación por Radio Frecuencia)

SDMA: Spatial-Division Medium Access (Acceso Múltiple por División de Espacio)

SNR: Signal-to-Noise Ratio (Relación Señal-a-Ruido)

TDMA: Time Division Multiple Access (Acceso Múltiple por División de Tiempo)

UHF: Ultra High Frequency (Ultra Alta Frecuencia)

USB: Upper Side Band (Banda Lateral Superior)

VLF: Very Low Frequency (Muy Baja Frecuencia)

VCCI: Vicinity Integrated Circuit Card (Tarjetas de Vecindad con Circuito Integrado)

WORM: Write – Once /Read Many Memory (Memoria de una Sola Escritura y Múltiples Lecturas)

WiFi: Comunicación Inalámbrica basada en el estándar 802.11

INTRODUCCIÓN

En los últimos años las tecnologías de identificación automática basadas en ondas de radio han evolucionado sustancialmente cubriendo falencias presentes en otras tecnologías comerciales; su función principal consiste en el seguimiento y trazabilidad de elementos para la captura eficiente y exacta de datos. Paulatinamente, los países han comenzado a migrar hacia este tipo de tecnologías de RF (Radio Frecuencia), porque los costos se han reducido y las capacidades técnicas se han elevado; así mismo, el número de aplicaciones trasciende a diversos sectores como el agro, peajes, la industria, bibliotecas, y cadenas de suministros, buscando finalmente satisfacer las demandas relacionadas con capacidad de almacenamiento de datos, y agilidad para realizar la lectura de forma remota y sin errores.

En términos generales, RFID (Identificación por Radio Frecuencia) es una tecnología de Identificación automática que transmite y captura información de un objeto o persona a través de ondas electromagnéticas, presenta grandes ventajas respecto a las tecnologías ópticas, por ejemplo: no requiere de un contacto visual directo para obtener la información contenida en la etiqueta inteligente. En este contexto, las bibliotecas buscan mejorar su sistema de gestión de información e identificación de libros, agilizando la captura de información con el fin de hacer más eficiente la atención a los usuarios; por estas razones muchas bibliotecas han migrado hacia los sistemas RFID, es el caso del proyecto piloto llevado a cabo en la Universidad Santiago de Chile.

En la actualidad la biblioteca José María Serrano de la Universidad del Cauca utiliza como mecanismo de control de ejemplares y estudiantes la tecnología código de barras. Sin embargo, tiene serias desventajas: el personal no tiene la capacidad de identificar y registrar simultáneamente múltiples ejemplares, carece de un dispositivo de almacenamiento, la movilidad es limitada y requiere estrictamente de línea de vista para la identificación de un ejemplar, por lo tanto, el proceso de registro o inventario de libros o ejemplares se torna prolongado y complejo. En este ámbito, RFID busca consolidarse o integrarse, con el fin de solucionar los inconvenientes que surgen en la tecnología de código de barras buscando mejorar los procesos actuales y brindar un servicio de calidad.

En este contexto el trabajo propone el diseño de un sistema RFID para la identificación, registro y préstamo de libros en las instalaciones de la biblioteca José María Serrano de la Universidad del Cauca. El objetivo es el diseño de un sistema RFID parcialmente automatizado con base en la selección de lectores, etiquetas y antenas RFID con el fin de mejorar algunos procesos que realiza diariamente la biblioteca utilizando el código de barras.

El estudio comprende una apropiación de la tecnología RFID desde diversos enfoques: teoría electromagnética, comunicaciones por RF, regulaciones y estándares, con el fin de analizar los aspectos técnicos y funcionales. Además, se realizaron pruebas de campo utilizando los dispositivos de barras que actualmente tiene la biblioteca Jose Maria Serrano, con el fin de comparar el desempeño de ambos sistemas; con base en los resultados obtenidos y con apoyo de dos herramientas de simulación, se definirán un conjunto de especificaciones y recomendaciones técnicas generales para el diseño de un sistema RFID en el entorno bibliotecario.

Con el fin de abordar los temas necesarios para el desarrollo de este Trabajo de Grado, el contenido consta de 5 capítulos que se distribuyen de la siguiente manera:

Capítulo 1. Introducción a los sistemas de Auto Identificación. El capítulo presenta una descripción del código de barras y una introducción a los sistemas RFID. Además, se realiza una comparación general entre ambas tecnologías.

Capítulo 2. Introducción a los sistemas RFID. Se establece un marco teórico de la tecnología donde se describen aspectos fundamentales de la teoría electromagnética y de comunicación aplicados a los sistemas de identificación por RF. Además, describe el funcionamiento técnico, componentes, estándares y las regulaciones actuales en Colombia.

Capítulo 3. Simulación, Pruebas y Resultados. Se Justifica la selección de las dos herramientas de simulación software seleccionadas y se define las características de cada una. Finalmente, se presentan un análisis de los resultados obtenidos de las simulaciones con base en los escenarios planteados. Con esto se formaliza la apropiación de la tecnología RFID.

Capítulo 4. Diseño del sistema RFID y Selección de Dispositivos para la Biblioteca José María Serrano. Se realiza la selección de equipos y dispositivos RFID (lectores, etiquetas y antenas) basados en las compañías líderes en materia de RFID. Además, se describe el sistema de información que actualmente utiliza el personal administrativo de la biblioteca para el préstamo de ejemplares. Para finalizar el capítulo se propone un diseño básico con base en los dispositivos seleccionados, y se describe el funcionamiento del sistema RFID propuesto.

Capítulo 5. Especificaciones, Recomendaciones y Conclusiones. El capítulo cinco incluye las recomendaciones y especificaciones técnicas para el diseño del sistema RFID en la biblioteca. Los criterios son obtenidos con base en el análisis conceptual de la tecnología, los resultados de las simulaciones y las experiencias obtenidas del código de barras en la biblioteca José María Serrano de la Universidad del Cauca.

Capítulo 6. Se plantea las conclusiones, y posibles trabajos futuros a realizar en proyectos de grado.

1 INTRODUCCION A LOS SISTEMAS DE AUTO IDENTIFICACIÓN

Uno de los problemas planteados a nivel industrial y de logística consiste en adoptar principios de trazabilidad para los procesos de distribución y almacenamiento de sus productos, como parte de la modernización de su estructura organizacional y tecnológica. Se hace indispensable el desarrollo de sistemas de identificación, para dar solución a necesidades tales como manejo de información referente a personas u objetos, según los principios de trazabilidad para llevar un control exacto de los artículos desde el momento de su creación hasta su destino final, es decir, disponer del historial y de los antecedentes en tiempo real.

Los sistemas de auto identificación (Auto ID²) modernos son automáticos o semiautomáticos, gracias a esto, los procesos realizados sobre la información referente a un objeto dado, como decodificación, verificación, aceptación y toma de decisiones son efectuados de forma lógica por un computador, agilizándolos enormemente y haciéndolos menos vulnerables a errores, aumentando así su confiabilidad y eficiencia. En este ámbito, las empresas no solo buscan mejorar la eficiencia y la producción, sino eliminar los errores que se producen al capturar información referente a un objeto.

Se utilizan diferentes formas de registro según el medio tecnológico utilizado para realizar la lectura y almacenamiento de información referente a un objeto: registro magnético, óptico, mediante reconocimiento de voz, tarjetas inteligentes, por RF y utilización de sistemas biométricos, entre otros; cada una de estas formas de registro cuenta con ventajas y desventajas respecto a las otras, la elección adecuada de forma de registro adecuada depende principalmente de la aplicación del sistema, porque los requerimientos de seguridad, confiabilidad, economía, velocidad de lectura y distancia de lectura, cambian de una aplicación a otra.

Generalmente la mayoría de estos sistemas hacen uso de dos componentes: uno que contiene la información codificada (datos procesados siguiendo alguna norma o patrón preestablecido) generalmente una etiqueta, y otro que hace el proceso de reconocimiento de la información (lector), para luego enviarla a un computador central que ejecuta diversos procesos: decodificación, verificación y comparación con un patrón preestablecido.

1.1 SISTEMAS DE AUTO ID¹

1.1.1 Código de Barras

El sistema de identificación más utilizado y distribuido en el mercado. Corresponde a una disposición de barras y espacios paralelos que contienen la información codificada, y que se leen exponiéndolos a un haz de luz láser que emite el lector, en los espacios se refleja el haz mientras que en las barras oscuras se absorbe parte de la luz, emitiendo de retorno una cierta cantidad de luz que es interpretada por el lector y finalmente procesada [1][2]

El código de barras utiliza varios tipos de simbología (ISBN, UPC) para la codificación de la información de acuerdo al tipo de aplicación. Cada ejemplar de la biblioteca utiliza un código EAN (Número Electrónico Europeo):

¹ En el anexo D se describen los sistemas de identificación utilizados en la actualidad.

- ❖ **Sistema de codificación EAN (EAN-128):** El código UCC/EAN-128 es un código alfanumérico de longitud variable, capaz de almacenar grandes cantidades de datos como; la fecha de vencimiento del producto, número de lote y la fecha de producción, etc. En la actualidad es un sistema de codificación universal lo que lo consolida como un código estándar. Fue diseñado para añadir características al código EAN 13 y realizar tareas de trazabilidad [1].

1.1.2 Sistemas de Identificación por RF

Estos sistemas permiten la automatización de procesos mediante una etiqueta electrónica asociada a un objeto o individuo susceptible de ser leída a distancia mediante la emisión de ondas de RF en una banda de frecuencia del espectro radio eléctrico. Se caracteriza por su trazabilidad (seguimiento continuo del objeto) y es capaz de conocer su estado en tiempo real. Los dispositivos RFID (Radio Frequency Identification, Identificación por Radio Frecuencia) emplean las bandas de LF (Low Frequency, Baja Frecuencia) y HF (High Frequency, Alta Frecuencia) y UHF (Ultra High Frequency, Ultra Alta Frecuencia) para la emisión de ondas. Los sistemas RFID que funcionan a bajas frecuencias son de bajo costo, corto alcance y resistentes al ruido; no se requiere de licencia para operar en este rango de frecuencia ya que se trata de la banda no comercial ICM (Industria, Científico y Médico). Los dispositivos que operan a frecuencias más altas (UHF), tienen costos más elevados y un mayor alcance, pero son susceptibles a las pérdidas de espacio libre y las interferencias con los obstáculos [2].

Las etiquetas electrónicas (también denominado *tag* o transpondedor) que se añaden al producto se les llama transpondedores o *tags*; son dispositivos electrónicos transmisores-receptores encapsulados y se adhieren a los objetos para su identificación; los sistemas RFID se clasifican según el tipo de *tags* utilizados, ya sean pasivos o activos, la diferencia radica en que en los dispositivos pasivos, la energía para el funcionamiento se transmite desde el lector; mientras que en los activos se les incorpora una batería de donde se obtiene la energía necesaria para su activación. El lector genera un campo magnético cuya señal de RF es captada por el receptor del *tag*; este a su vez activará al transpondedor el cual enviará un mensaje único [10]. Esta tecnología tiene innumerables aplicaciones: identificación de animales, monitoreo de vehículos en movimiento, control de líneas de producción, control de acceso.

La implementación de la tecnología RFID a nivel de consumo masivo y en la cadena de abastecimientos, da paso a una nueva revolución tecnológica y un cambio de paradigma que afectará directamente la forma en que las compañías desarrollen sus negocios ya que dispondrán de una gran cantidad de información.

1.2 COMPARACION ENTRE EL CODIGO DE BARRAS Y LOS SISTEMAS RFID²

Por más de 25 años el código de barras ha sido el principal medio de identificación automática de objetos a gran escala, su efectividad, sin embargo, tienen sus limitaciones. Comparando los parámetros fundamentales (capacidad de legibilidad, rapidez de lectura, durabilidad de la etiqueta, cantidad de información que puede almacenar, flexibilidad de información, costos de la tecnología y los estándares vigentes) [1][4] a tener en cuenta para un sistema de identificación, se realiza un análisis con el fin de hacer una adecuada migración del código de barras a la tecnología RFID.

² En el capítulo 4 se realiza una comparación detallada de ambas tecnologías.

- ❖ **Lectura:** El lector de código de barras requiere de línea de vista entre el lector y el objeto a identificar, mientras que un lector RFID no requiere de línea directa a frecuencias bajas (LF y HF). Por otra parte, la señal de RF es capaz de penetrar la mayoría de materiales y recorrer distancias mayores.
- ❖ **Velocidad de lectura:** La velocidad de lectura de una etiqueta RFID es mayor a la velocidad requerida por una etiqueta de barras para su identificación. Esto se debe a la capacidad de los sistemas RFID para leer etiquetas simultáneamente utilizando algoritmos de anticolisión. La tecnología de código de barras realiza la lectura de forma individual.
- ❖ **Durabilidad:** Las etiquetas RFID son más resistentes a ambientes complejos, ya que disponen de un encapsulado que protegen la vida útil de la etiqueta electrónica. La parte más susceptible a daños en una etiqueta RFID es el punto de unión entre la antena y el chip, cualquier daño en este punto inutilizar completamente la etiqueta.
- ❖ **Almacenamiento de datos:** Los *tags* RFID tienen mayor capacidad de almacenamiento, es decir, varios Kilobytes (Kbytes) de memoria, por lo tanto, maneja gran cantidad de datos o información debido a la memoria EEPROM, mientras el código de barras solo almacena un número de serie o código.
- ❖ **Flexibilidad de la información:** Las etiquetas RFID tienen la capacidad de lectura y escritura, permitiendo la trazabilidad de un objeto en tiempo real.
- ❖ **Seguridad:** Los códigos de barras no tienen ningún sistema que los haga más seguros, por el contrario, las etiquetas RFID soportan la combinación de palabras claves que se hacen ilegibles para sistemas de acceso que no usan este tipo de seguridad.
- ❖ **Costo:** Por ser una tecnología aun en vía de implementación y desarrollo, un sistema RFID implica un costo mayor que un sistema de código de barras; los principales costos están representados en equipos como impresoras, lectores, antenas, etc. Además, son necesarios servicios profesionales para la instalación, puesta en marcha de los equipos y la capacitación de los usuarios en su adecuada utilización.

2 INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS RFID

2.1 SISTEMAS DE IDENTIFICACIÓN POR RADIO FRECUENCIA

RFID es un sistema de identificación automático (Auto-ID) que utiliza ondas electromagnéticas para transmitir energía a una etiqueta electrónica; de retorno el *tag* transmite la señal con un código de identificación único, o bien con información adicional. Cuando la etiqueta se introduce en el campo electromagnético del lector, la energía captada por inducción magnética permite que los circuitos de la etiqueta funcionen y transmitan la información incorporada en su memoria a través del espacio libre [2][3].

La banda de frecuencia condiciona las características físicas de propagación del campo electromagnético, en consecuencia parámetros como: el tipo de acoplamiento, la distancia máxima de lectura y la velocidad de transmisión, afectan la comunicación entre el lector y el *tag*.

Este capítulo presenta un estudio de la tecnología RFID, analizando el funcionamiento desde diversos ámbitos: teoría electromagnética, sistemas inductivos, principios físicos generales, estándares y regulaciones de la tecnología. Con base en el marco conceptual se busca plantear un conjunto de recomendaciones y especificaciones para el diseño del sistema RFID en el escenario bibliotecario.

2.1.1 Componentes de un Sistema RFID

RFID es un método de almacenamiento y recuperación de datos mediante la identificación de dispositivos conocidos como transpondedores capaces de almacenar información. El lector envía una señal que es captada por todos los transpondedores que se encuentren sintonizados dentro de dicha frecuencia, estas etiquetas reciben la señal a través de sus antenas y responden con la información almacenada en una memoria como: números de serie, información del producto. El lector recibe la señal emitida por la etiqueta, la decodifica y luego la transfiere a un computador central o *host* con el software apropiado para procesarla conforme a la aplicación deseada [3][5]. En general, los sistemas RFID están constituidos principalmente por cuatro elementos que se describirán a continuación [2][3]:

- ❖ **Tag:** Es un *chip* unido a una antena y a un sistema de radio que trabaja a una determinada frecuencia. El chip tiene una memoria interna donde se almacena la información; el propósito de la antena es permitir al *chip* transmitir la información de la etiqueta, así como recibir del lector [2].
- ❖ **Interfaz Aérea:** La interfaz de aire define las especificaciones para establecer la comunicación correcta entre un transpondedor y un lector, y viceversa. Los atributos fundamentales que constituyen la interfaz son: esquemas de modulación, frecuencia de operación y tipo de acoplamiento.

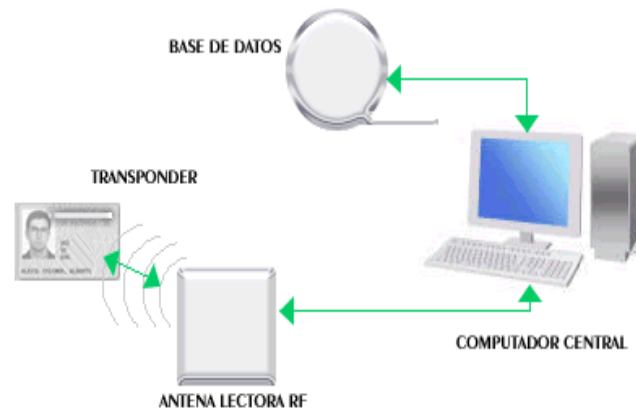


Figura 2.1. Componentes básicos de un sistema RFID [8]

- ❖ **Lector:** El interrogador es el encargado de transmitir la energía suficiente a la etiqueta para su alimentación. Está constituido por un transmisor y un receptor de RF [2], una unidad que se encarga del control y una antena cuya función es interrogar las etiquetas, como lo muestra la figura 2.1. Cuando capta una señal extrae la información y se la envía al subsistema de procesamiento de datos [2][8], comúnmente un *host* o computador central, donde se llevan a cabo funciones de procesamiento y almacenamiento.
- ❖ **Host:** Es un subsistema de procesamiento de datos representado por un ordenador o controlador. Mantiene comunicación con el lector, incluso es capaz de transmitir instrucciones al lector de RF. El *host* incorpora una base de datos capaz de realizar la correlación entre la información de retorno de la etiqueta y el resto de información del producto, es decir, compara la información almacenada en la base de datos con la datos recibidos por el lector [6][7].

2.1.2 Clasificación de los Sistemas RFID

Los sistemas RFID se clasifican de acuerdo a diferentes criterios relacionados con las características técnicas y con la forma de operación de sus componentes. Se clasifican según los siguientes criterios:

2.1.2.1 Según el tipo de etiqueta

La clasificación de estos sistemas se basan en la forma como los *tags* obtienen la alimentación para llevar a cabo el proceso de identificación [1]:

- ❖ **Etiquetas activas:** Las etiquetas activas inician la comunicación con el lector ya que incorporan una fuente de poder integrada (batería); son costosas porque integran una electrónica más sofisticada, lo cual incrementa su capacidad de almacenamiento. Suelen ser dispositivos de lectura-escritura y por su capacidad cuentan con un radio de cobertura aproximadamente de 30 m, sin embargo, su vida útil es mucho más corta en función de la fuente de poder incorporada [2][3].
- ❖ **Etiquetas pasivas:** Son etiquetas en las que su circuitería no contiene una batería propia de alimentación, por lo tanto, solo pueden iniciar la comunicación cuando el lector envía una señal de RF o campo electromagnético a la antena del *tag*. Esta clase de etiquetas se caracterizan por su corto alcance (oscila entre los 10 mm y 1 m) dependiendo de la frecuencia de operación, la forma y el tamaño de la antena [2][9]. Debido a la ausencia de una fuente de energía las etiquetas pasivas son pequeñas y económicas.

- ❖ **Etiquetas semi-pasivas:** Similar a la forma como se excitan los *tags* pasivos, es el lector quien inicia la comunicación con este tipo de *tags*, sin embargo, contienen una batería propia y toman la energía de la señal electromagnética para activar el *microchip*, de esta forma consiguen distancias mayores de lectura [2][9].

2.1.2.2 Según la frecuencia de trabajo.

Las etiquetas pasivas se clasifican según el rango de frecuencias en el que opera, es decir, en que frecuencias se comunicará con el lector de RF:

- ❖ **Baja Frecuencia (LF):** Comprende la banda de frecuencia de 120 a 135 KHz; el rango de lectura máximo para *tags* pasivos es aproximadamente 0,5 m. A esta frecuencia se utilizan etiquetas pasivas bajo el mecanismo de acoplamiento magnético, la velocidad de transmisión de datos que manejan es lenta; no obstante, su funcionamiento es muy eficiente en ambientes hostiles debido al valor de la longitud de onda [2][9].
- ❖ **Alta Frecuencia (HF):** Su frecuencia de funcionamiento típica es de 13,56 MHz. Cuenta con un rango máximo de lectura de 1 m. Se recomienda para aplicaciones que no requieran un alto número de lecturas de etiquetas, debido a la baja velocidad de transmisión de datos. Generalmente funcionan bajo el principio de acoplamiento inductivo [2][9].
- ❖ **Ultra Alta Frecuencia (UHF):** Corresponde a frecuencias entre los 868 y 930 MHz, tienen un rango de lectura máximo entre 3 y 5 m [2][3] y son ideales para lectura múltiple de etiquetas. La velocidad de transmisión de datos es mayor, pero son más susceptibles en ambientes hostiles, esto es, las interferencias y obstáculos materiales afectan la señal de información [2][9].
- ❖ **Frecuencia de Microondas:** Corresponde a la banda de frecuencia de 2,45 y 5,8 GHz, su rango máximo de lectura es de 6 m (medido en *tags* pasivos), sus características son similares a las de UHF pero maneja velocidades de transmisión mucho mayores; es la banda más susceptible al mal funcionamiento en ambientes hostiles, ya que se requiere de línea de vista entre el transmisor y el receptor, y señales más direccionales [2].

2.1.2.3 Según su capacidad de programación

Esta clasificación hace referencia a la capacidad para añadir datos en el chip, en función del tipo de memoria que incorpore el transpondedor:

- ❖ **De solo Lectura:** Las etiquetas de este tipo se programan durante su fabricación, por lo tanto, no pueden ser reprogramadas, esto significa, que la información contenida en la memoria del *tag* no puede ser alterada y no se permite adicionar datos [2][9].
- ❖ **De una Escritura y Múltiples Lecturas:** Son conocidas como etiquetas *WORM* (*Write Once Read Only*, una sola Escritura y Múltiples Lecturas), estas etiquetas permiten una única reprogramación, pero la escritura generalmente no la realiza el fabricante sino el usuario utilizando el lector de RF, después de escribir el dato es imposible modificarlo [2][9].
- ❖ **De Lectura y Escritura:** Estas etiquetas permiten múltiples reprogramaciones, lo que significa que el *tag* es capaz de recibir y almacenar información adicional; el número de reprogramaciones varía entre 10.000 y 100.000. Este tipo de etiquetas usualmente incorporan

una memoria FRAM³ (*Ferroelectric Random Access memory, Memoria de Acceso Aleatorio Ferroeléctrica*), o una memoria EEPROM⁴ (*Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory, Memoria de Sólo Lectura Programable y Borrable Eléctricamente*) para almacenar los datos [2][9].

2.1.2.4 Según el modo de explotación del canal

Se refiere al modo de explotación del canal de un sistema RFID [2][3]. Se clasifica en:

- ❖ **Half-dúplex:** Para leer una *etiqueta* es necesario establecer una comunicación entre el lector y el dispositivo mediante técnicas de transmisión o comunicación. En el modo *Half Duplex* (HDx), la información transferida desde el transpondedor se alterna con el dato transmitido por el lector. Durante la comunicación el interrogador transmite una señal sinusoidal *broadcast*⁵ de alta frecuencia a todas las etiquetas dentro de su zona de interrogación.
- ❖ **Full-dúplex:** El dato transferido desde la etiqueta al lector se realiza simultáneamente a la transmisión del dato del lector a la etiqueta. El transpondedor para responder al lector utiliza una fracción de la frecuencia del lector, subármónicos o frecuencias completamente distintas.
- ❖ **Secuencial:** En estos sistemas, el *chip* de la etiqueta es alimentado de forma intermitente por el campo de RF generado por el lector que se enciende y se apaga en intervalos regulares, la transferencia de energía se lleva a cabo en los intervalos donde el lector y la etiqueta no se están comunicando, sin embargo, hay pérdida de energía por parte de la etiqueta en los intervalos donde se suspende la comunicación.

2.1.2.5 Según el mecanismo de comunicación

Es posible clasificar los sistemas RFID según el mecanismo que utilizan para transferir energía desde la antena del lector a la antena del transpondedor de las siguientes formas:

- ❖ **Inductivos:** Son sistemas que utilizan el campo magnético generado por la antena del lector para alimentar el chip del transpondedor. Operan en la región de campo cercano reactivo lo cual significa que tienen un alcance reducido, por eso suelen utilizar etiquetas pasivas. Además, no es necesario considerar la orientación de la antena para la transmisión. Operan comúnmente a frecuencias de LF y HF.
- ❖ **Propagación de ondas electromagnéticas:** Son sistemas que utilizan las ondas electromagnéticas para alimentar la antena, operan en la región de campo lejano lo que implica mayor cobertura. Suelen utilizar las frecuencias de UHF y microondas; para estos sistemas es necesario el uso regulaciones para no interferir en las bandas de frecuencias de otras aplicaciones como la de telefonía celular.

³ Las FRAM son memorias no volátiles que se caracterizan por una alta velocidad de escritura, bajo consumo de potencia y una capacidad ilimitada de escritura, prescindiendo del consumo de energía para almacenar información. Por tal razón, utilizan el efecto ferroeléctrico en el cual el material presenta polarización después de retirarse del campo eléctrico.

⁴ Memorias de solo lectura programable que se pueden borrar eléctricamente pero poseen un consumo elevado de energía, y un tiempo de vida limitado.

⁵ Modo de transmisión donde el lector envía una señal de interrogación a múltiples transpondedores de forma simultánea.

2.2 ETIQUETA

Es un dispositivo electrónico compuesto por una antena y un circuito integrado que almacena un código de identificación único. Incluyen una bobina o un circuito resonante que actúa como interfaz entre el transpondedor y la señal recibida o emitida. La figura 2.2 muestra los elementos fundamentales que componen una etiqueta.

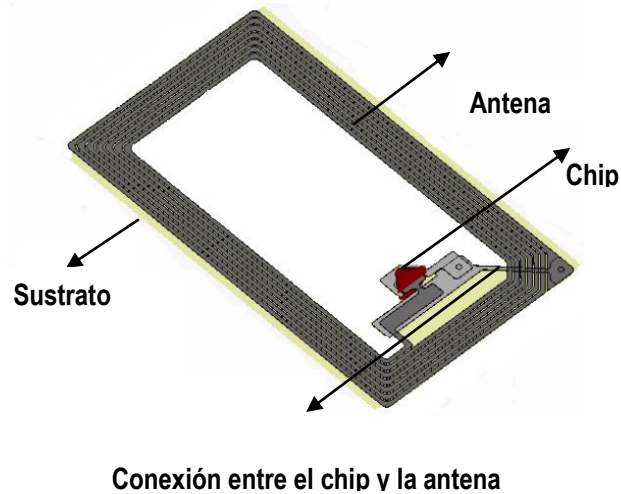


Figura 2.2 Componentes de una etiqueta RFID [6].

2.2.1 Elementos de una Etiqueta de Radiofrecuencia

Los componentes principales de una etiqueta de RF [2][3] son los siguientes:

- ❖ **Microchip:** Este dispositivo corresponde a un circuito integrado embebido en la etiqueta; se compone de una memoria no volátil donde se almacena la información del objeto que se va a identificar. El *chip* está constituido por los siguientes componentes circuitales (figura 2.3):
 - **Componente Analógico:** Realiza la transferencia de datos y suministra la alimentación necesaria para el funcionamiento. La unidad analógica se compone de un circuito rectificador de corriente, un regulador de voltaje, un circuito demodulador y un modulador de señal.
 - **Componente Digital:** Lo integran tres unidades lógicas: unidad lógica de control, unidad lógica de seguridad y la lógica interna. La parte lógica representa el microcontrolador (circuito integrado) incorporado en la etiqueta.
- ❖ **Memoria ROM:** Una memoria de solo lectura donde se almacenan los datos de seguridad y el *firmware*. Este último es capaz de controlar y operar los circuitos electrónicos del dispositivo, como los temporizadores, entre otros.
- ❖ **Memoria RAM:** Memoria volátil utilizada principalmente para facilitar el almacenamiento de datos de forma transitoria durante la comunicación entre el transpondedor y la etiqueta o viceversa.

- ❖ **Memoria de programación no volátil:** Almacena datos de forma permanente independiente si el dispositivo es desactivado. Existen varios tipos de memorias no volátiles, las más comunes son las EEPROM y las FRAM, debido a su eficiente consumo de energía. Los sistemas RFID de microondas usan memorias SRAM que son RAM estáticas con gran capacidad de almacenamiento temporal, pueden llegar hasta 1 Mbyte [2].
- ❖ **Antena:** Es el dispositivo encargado de transmitir y recibir los datos, así como de proporcionar la energía suficiente para que las etiquetas transmitan su información. Generalmente para altas y bajas frecuencias las antenas son representadas por elementos inductivos (bobinas), o simplemente un dipolo elemental $\lambda / 2$ para frecuencias UHF o microondas. Las antenas típicas incorporadas a las etiquetas de RF son dipolos y antenas basadas en técnica de microcintas o *microstrip*⁶ con diversas geometrías (circular, rectangular, cuadrada, espiral).

Las dimensiones de la antena son un parámetro crítico durante el diseño de un sistema RFID, ya que determinan el rango de lectura de la etiqueta y el lector; en general, antenas más grandes son capaces de radiar mayor energía incrementando su radio de acción.

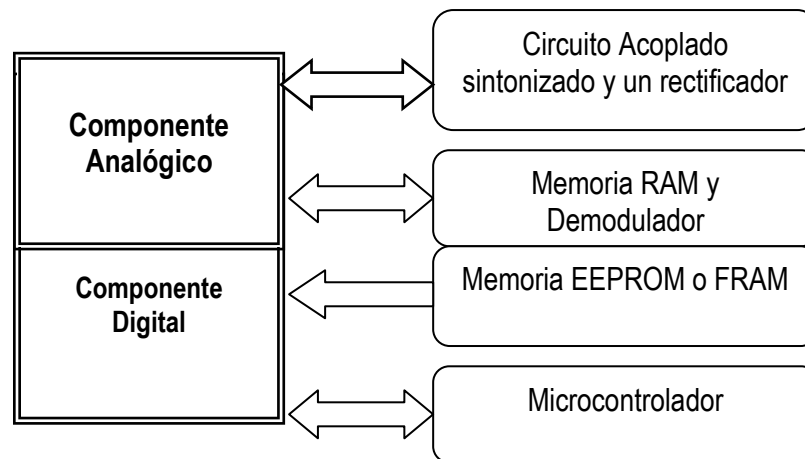


Figura 2.3. Estructura de una etiqueta RFID [2]

2.3 RANGOS DE FRECUENCIA

Los sistemas RFID generan y radian ondas radioeléctricas esto implica que ocupan un lugar del espectro electromagnético y una banda de frecuencia, por lo tanto, son clasificados como sistemas de radio [2]. Los rangos de frecuencia disponibles en la actualidad para las aplicaciones RFID son limitados, debido a los múltiples servicios de radiocomunicaciones presentes en el espectro, sin embargo, las frecuencias de operación reservadas para los sistemas RFID son atribuidas a la banda internacional ICM [9]. La tabla 2.2, describe las características principales para cada banda de frecuencia.

Una de las características primordiales durante el diseño de un sistema RFID es la elección de la frecuencia de operación, este parámetro determina la velocidad de transmisión, la distancia de lectura, y la capacidad de penetración en los materiales.

⁶ Básicamente una antena *microstrip* está compuestas por un circuito impreso revestido por ambos lados que ocupa un espacio reducido, ventaja para las etiquetas RFID que son dispositivos de tamaño reducido.

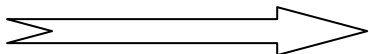
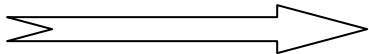
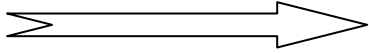
Rango de frecuencias	LF	HF	UHF	MICROONDAS
	Menores a 135 KHz	13.56 MHz	860 a 930MHz	2.4GHz
Especificación de estándares	ISO/IEC 18000-2 Tag It	ISO/IEC 18000-3 EPC HF class1 ISO 15693, ISO 14443(A y B)	ISO/IEC 18000-6 Auto-ID class 0, class1	ISO IEC 18000-4
Orientación	Mínima	Baja	Alta	Muy Alta
Penetración	Mejor	Buena	Menor que HF	Baja
Rango típico de lectura	Menor a 0.5 metros	Aproximadamente 1,5 metros	Aproximadamente entre 3 y cinco metros	Mayor a 6m
Generalidades	Utilizan etiquetas más costosas con antenas más grandes que son menos susceptibles a ruidos y degradaciones en el ambiente.	Utilizan <i>tags</i> más económicos que LF, son mejores para aplicaciones que no requieren un largo alcance, es la frecuencia actualmente más utilizada junto con la de UHF.	Los <i>tags</i> son más económicos que los HF o LF y además son adecuados para lecturas múltiples y a largas distancias. Su desempeño se ve afectado en caso de exposición a metales o líquidos.	Sus características son similares a los de UHF pero los lectores son más rápidos.; son muy susceptibles a degradaciones por metales y líquidos debido a su frecuencia de microondas.
Fuente de alimentación del tag	Principalmente etiquetas pasivas usando acoplamiento inductivo de campo cercano	Principalmente etiquetas pasivas usando acoplamiento inductivo	Etiquetas activas y pasivas usando acoplamiento <i>backscatter</i> en campo lejano	Etiquetas activas y pasivas usando acoplamiento <i>backscatter</i> en campo lejano
Aplicaciones Mas comunes	Control de acceso, monitoreo de animales, inmovilizadores de vehículos	Control de acceso, control de equipajes, , control de librerías	Etiquetado de productos en cadena de suministros, telepeajes.	Localización de objetos en tiempo real y a grandes distancias.
Tasa de Lectura múltiple	Lenta			Rápida
Lectura cerca de metales	Buena			Mala
Tamaño tag pasivos	Mayor			Menor

Tabla 2.1. Organismos de regulación de la tecnología RFID.

2.4 CÓDIGO ELECTRÓNICO DEL PRODUCTO EPC

Las etiquetas RFID tienen un código único llamado EPC (*Code Electronic Product*, Código Electrónico del Producto) para la identificación exclusiva de un objeto. El código EPC ha facilitado la migración del código de barras hacia la tecnología RFID; a través de este número almacenado en la memoria de la etiqueta es posible conocer los datos asociados a un producto como: la versión de EPC usada, fabricante, tipo de producto y número de serie único del objeto; lo que permite la trazabilidad del producto.

La figura 2.4 muestra la estructura general de un código EPC de 96 bits [11][2].

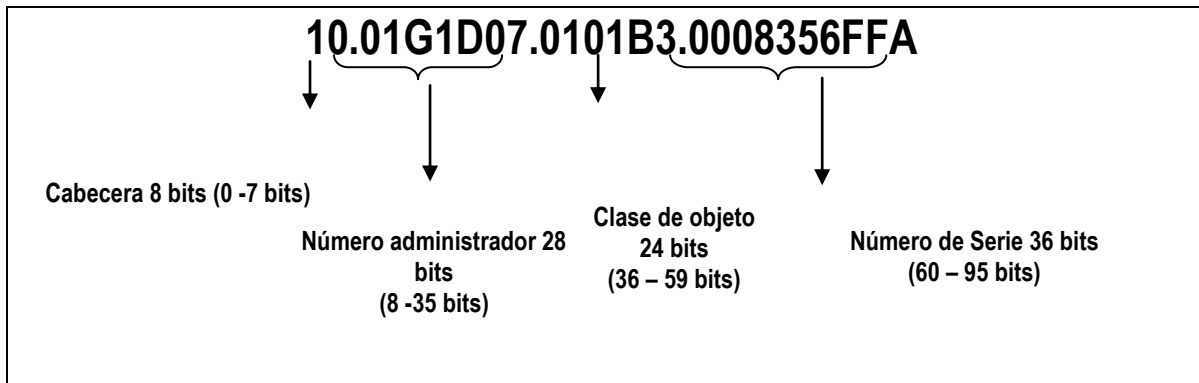


Figura 2.4. Código EPC de 96 bits [11].

Cada campo de la etiqueta EPC de 96 bits se describe a continuación:

- ❖ **Número de cabecera:** Los bits de 0 a 7, corresponde a la versión del código EPC usado.
- ❖ **Número de administrador:** Los bits de 8 -35, pertenece al nombre de la compañía fabricante.
- ❖ **Clase del objeto:** Los bits del 36 al 59, corresponde a la serie del objeto a localizar.
- ❖ **Número de serie:** Los bits del 60 a 95 indican el número específico del objeto localizado.

2.4.1 Clasificación de las etiquetas según el EPC

El estándar de la EPC define un conjunto de etiquetas utilizadas para diferentes aplicaciones. A continuación se describe cada clase [11][2].

- ❖ **Clase 0 EPC:** Corresponden a la clase más sencilla, son etiquetas pasivas de solo lectura y su programación la realiza el fabricante.
- ❖ **Clase 1 EPC:** Son etiquetas pasivas de múltiples lecturas y una sola escritura, no es necesario que sean programadas por el fabricante, posibilitando así su personalización.
- ❖ **Clase 2 EPC:** Son etiquetas pasivas con capacidad de múltiples escrituras y lecturas.
- ❖ **Clase 3 EPC:** Estas etiquetas tienen las mismas capacidades de la clase 2 y además, tienen una fuente de alimentación que incrementa su rango de trabajo. Además, incorporan sensores en la etiqueta para llevar a cabo procesos de telemetría.
- ❖ **Clase 4 EPC:** Son etiquetas activas, tienen las mismas funciones que la clase 3, pero pueden comunicarse entre sí con otras etiquetas activas sin necesidad de un lector, son etiquetas bastante sofisticadas; traen transmisores y baterías incorporadas.
- ❖ **Clase 5 EPC:** Son etiquetas activas, con las mismas funciones de la clase 4; pero además de comunicarse con etiquetas activas tiene la posibilidad de comunicarse también con *tags* pasivos.

2.5 LECTOR

Durante la comunicación, el lector transmite una señal sinusoidal de RF para detectar y activar las etiquetas pasivas en una determinada zona de cobertura. Actúa como interfaz entre el transpondedor y el dispositivo que procesa la información (*host*) y solo emite un campo de RF; además, están en capacidad

de leer y escribir información en las etiquetas cuando el lector y el transpondedor manejan el mismo protocolo de comunicación.

En el modo de funcionamiento automático, el interrogador lleva a cabo el proceso de lectura de forma periódica (transmite su señal de RF indefinidamente) identificando aquellas etiquetas que se encuentre en su zona de lectura. Actualmente existen diversos lectores, algunos con antenas integradas, otros que necesitan de la conexión a una antena externa; lectores simples, es decir, funcionan bajo una sola frecuencia y estándar, o interrogadores multifrecuencia y multiprotocolo, esto es, trabajan con dos frecuencias de operación y soportan diversos protocolos de comunicación [2][3].

2.5.1 Componentes Físicos de un Lector de RF

Los lectores normalmente están equipados con un módulo de RF (transmisor y un receptor), una unidad de control capaz de implementar los protocolos de comunicación y una o varias antenas para extender la cobertura e identificar *tags* en varias posiciones. El lector es componente principal de un sistema RFID, para establecer la comunicación con el *host* usualmente utilizan una interfaz de comunicación de red ya sea un enlace local remoto a través de los protocolos RS-232 o RS-485⁸ [2][12].

Actualmente, tecnologías como *Ethernet* (protocolo de red) o *WLAN* (Redes Locales Inalámbricas, *WiFi*) son utilizadas para la comunicación de los lectores fijos y portables con el *host*. La figura 2.5 muestra el diagrama en bloques de un lector básico de RF.

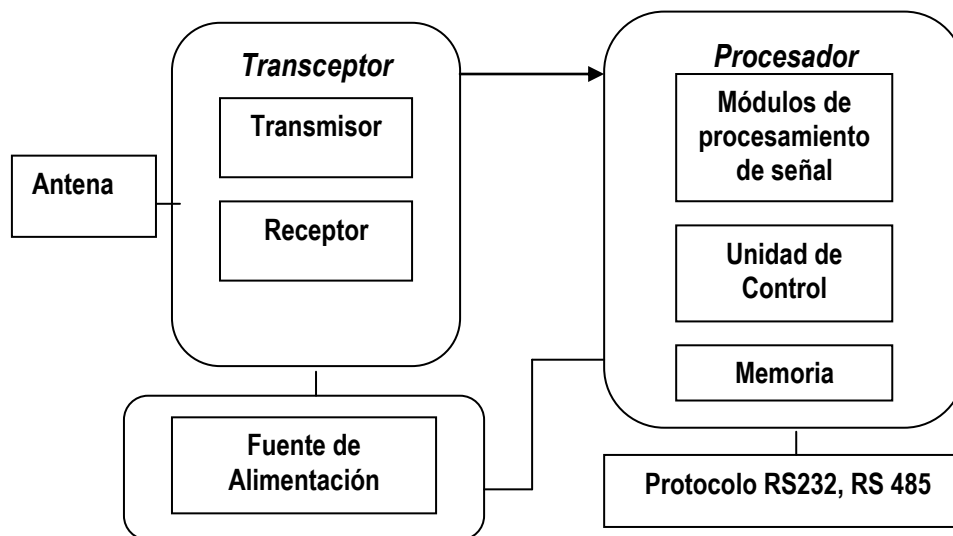


Figura 2.5. Diagrama en bloques de un lector básico de RF [2]

⁸El protocolo RS 232 provee una comunicación confiable entre el lector y el *host*, sin embargo, su corto alcance (30 m), su baja velocidad de comunicación y su carencia de CRC, han convertido al protocolo RS 485 en el más idóneo para estas aplicaciones; algunas ventajas son: alcance (1200 m), alta velocidad y (2 Mbps) y múltiples dispositivos son capaces de conectarse al mismo cable.

- ❖ **Modulo Transceptor:** Este modulo es el más sencillo y consta de un transmisor que se encarga de generar la señal de RF para activar la etiqueta proporcionándole la energía suficiente (en el caso de las etiquetas pasivas) a través de su antena bobina. Básicamente lo constituyen un módulo de procesamiento digital de señal, como, un modulador, demodulador, filtros y amplificadores, etc. Asimismo, son los responsables de emitir la señal de reloj a los transpondedores. Es parte de este módulo el receptor, cuyo propósito es de recibir la señal de información procedente de la etiqueta a través de la misma antena, y llevar a cabo los procesos de filtraje, amplificación y demodulación [2][3]. Cuando se transmite y se recibe con una misma antena, esta contiene dos caminos separados para los datos recibidos y transmitidos al *tag*; esta situación lo ilustra la figura 2.6.

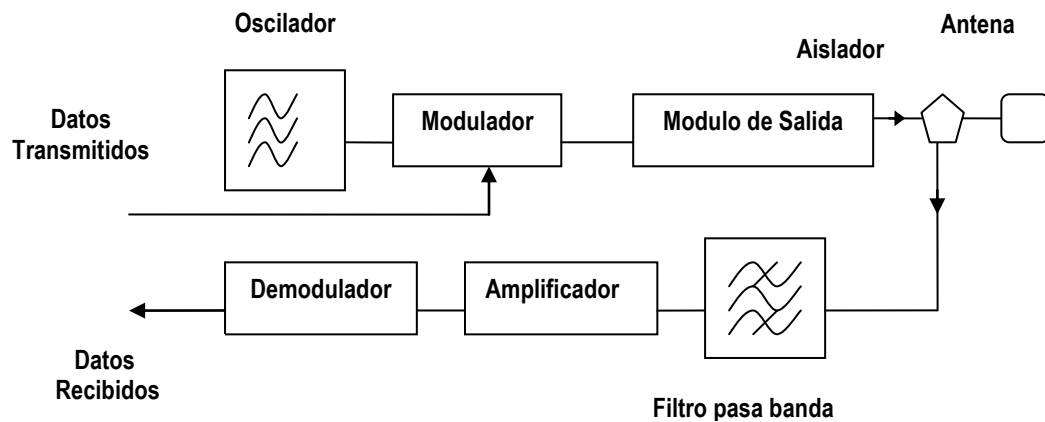


Figura 2.6. Diagrama en bloques de un lector de RF [2]

- ❖ **Modulo Procesador:** Se compone de los siguientes elementos:
 - **Antena:** Es la interfaz de comunicación entre el transpondedor y el lector de RF. Diseñada para transmitir y recibir señales electromagnéticas. En un lector de RF es común encontrar una antena incorporada a su circuitería o una antena externa. Suelen utilizar polarización circular ya que los *tags* están cambiando constantemente la dirección debido al movimiento o desplazamiento [2].
 - **Memoria:** En la memoria se almacena las instrucciones de control y un número determinado de lecturas recientes de un objeto. En general el módulo reside en el *firmware* del lector. Lo componen una memoria ROM y RAM [2].
 - **Protocolo de comunicación:** Define la conectividad entre el lector y el *host* de control; son utilizados generalmente el protocolo RS 232 y el RS 485, sin embargo, los fabricantes actualmente están adaptando tecnologías más sofisticada para los lectores de RF como *Ethernet* y el estándar 802.11b (*wi Fi*) para recibir instrucciones de dispositivos externos [2][12].
 - **Microprocesador:** Realiza actividades de comprobación de errores y verificación de la información procedente del transpondedor (CRC). Además, activa las etiquetas autentifica y

autoriza la transmisión, gestiona los procesos o algoritmos de anticollisión; transmite y recibe información hacia la etiqueta. Los módulos de un lector se muestran en la figura 2.7 [2].

- **Fuente de alimentación:** Normalmente es un cable conectado a una toma corriente o un una batería recargable en su interior para alimentar cada uno de los circuitos del lector [2].

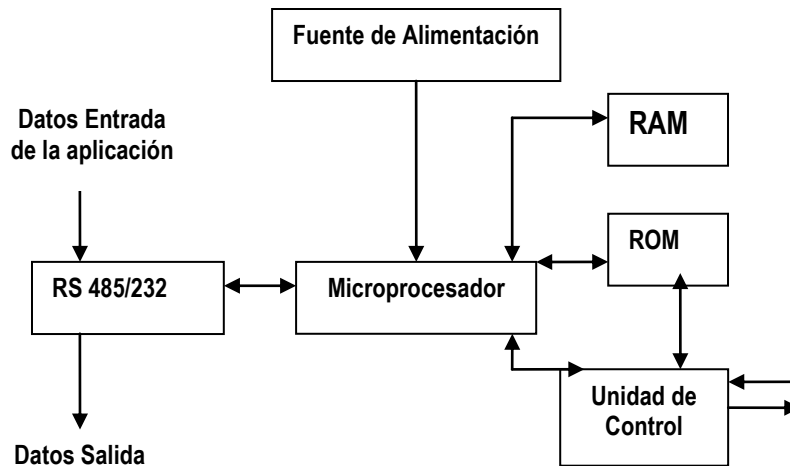


Figura 2.7. Diagrama en bloques del módulo microprocesador de un lector [1]

2.6 TÉCNICAS DE ANTICOLISIÓN O MULTIIACCESO

Los mecanismos de anticollisión permiten leer varias etiquetas que responden a la señal del lector cuando se encuentran dentro de su zona de cobertura, provocando interferencias, colisiones y lecturas erróneas. Las técnicas de multiacceso permiten que un lector de RF este en capacidad de comunicarse con múltiples etiquetas simultáneamente, ya que el lector desconoce la cantidad de etiquetas que se encuentran en su alrededor.

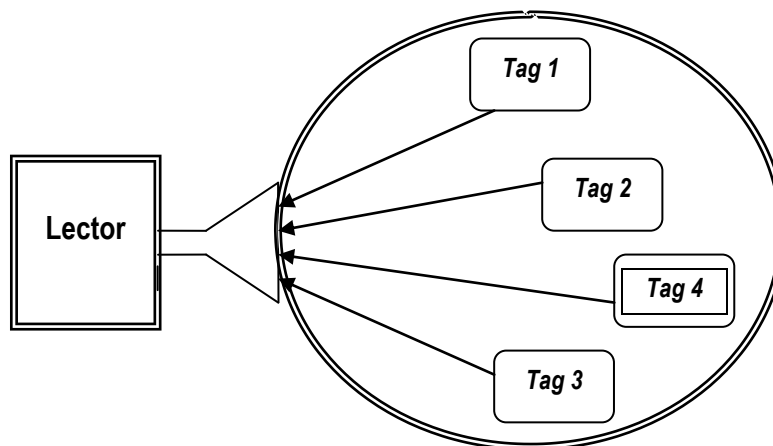


Figura 2.8. Capacidad de las etiquetas para transmitir la señal sin colisiones [2]

La comunicación entre un lector y las etiquetas utiliza el principio *broadcast*, es decir, una estación base transmite hacia múltiples dispositivos de radio (etiquetas), esto se conoce como enlace de bajada de RF. Cuando se establece el enlace de subida, las etiquetas que se encuentren de la zona de interrogación transmiten los datos hacia el lector utilizando técnicas de multiacceso.

La figura 2.8 ilustra el procedimiento de anticolidión: durante el enlace de subida la capacidad de canal destinada al *tag 1* permanece hasta que la etiqueta finaliza su periodo de comunicación en un intervalo de tiempo; posteriormente el *tag 1* está inactivo, en consecuencia, la capacidad de canal es asignado en un tiempo justo al *tag 2* para que lleve a cabo la transmisión de datos. De esta forma se continúa hasta que el conjunto de transpondedores concluyan su comunicación [2].

Con el fin de obviar las colisiones, se han desarrollado numerosos métodos entre los cuales se destacan las siguientes técnicas multiacceso:

- ❖ **SDMA (Acceso Múltiple por División de Espacio):** En este tipo de técnicas se rehúsa la capacidad del canal dividiéndolo en áreas espaciales separadas; un inconveniente es su alto costo de implementación debido a la necesidad de un complejo sistema de antenas [12].
- ❖ **FDMA (Acceso Múltiple por División de Frecuencia):** En esta técnica hay varios canales de transmisión con varias frecuencias portadoras para ser usadas por las múltiples etiquetas; también son sistemas muy costosos ya que un mismo receptor debe recibir cada canal [12].
- ❖ **TDMA (Acceso Múltiple por División de Tiempo):** En esta técnica el canal disponible se divide cronológicamente entre los participantes de la comunicación, es el método más utilizado en RFID y se aplica a un mayor número de técnicas de anticolidión [12].

2.7 ORGANISMOS Y ESTÁNDARES

Hay acuerdos a nivel global para la regulación de cada tecnología, pero en general, los organismos de regulación de cada país son los encargados de controlar el uso del espectro de frecuencias y determinar la potencia adecuada para los servicios de radio dentro de cada territorio. En la tabla 2.3 se nombran algunos organismos de regulación:

PAÍS	ORGANISMO REGULADOR
EEUU	Comisión federal de Comunicaciones, FCC
EUROPA	La Conferencia Europea de Administraciones de Correos y Telecomunicaciones, CEPT
	Instituto Europeo de Estándares en Telecomunicaciones, ETSI
COLOMBIA	Ministerio de Comunicaciones

Tabla 2.2. Organismos de regulación de la tecnología RFID.

2.7.1 Estándares

Para que una tecnología emergente garantice su uso, durabilidad e interoperabilidad es justo desarrollar estándares que permitan que diferentes arquitecturas de un sistema sean funcionales y compatibles

entre sí. En la actualidad organismos como la ISO y la EPCglobal hacen esfuerzos por imponer estándares para unificar la tecnología de una forma abierta y global. La generación de más de un centenar de estándares propietarios de cada proveedor está limitando la difusión y comercialización de la tecnología RFID, debido a que clientes y fabricantes al no tener claras las reglas vigentes, no implementaban este tipo de tecnología, sin embargo, en la actualidad existe un movimiento global hacia un mismo estándar abierto, que reúne varios de ellos con el fin de facilitar el desarrollo de RFID.

A continuación se describen los estándares más utilizados desarrollados por los dos organismos de estandarización más trascendentales: la ISO y el EPCglobal, conforme a las necesidades y aplicaciones que han surgido a través del tiempo.

2.7.1.1 Estándares ISO

La ISO ha desarrollado estándares para la interoperabilidad de dispositivos RFID. Algunos de ellos son:

- ❖ **ISO 14443:** Describe el modo de operación de las tarjetas de identificación inteligentes de proximidad, con un rango de lectura aproximadamente de 15 cm., utilizando la frecuencia de 13.56 MHz. El ISO 14443 describe sus características físicas de las etiquetas, la interfaz aérea, anticolisión y el protocolo de transmisión.. Su aplicación típica es el control de acceso de pequeñas distancias [2][13][14].
- ❖ **ISO 15693:** Especifica las características físicas, la interfaz aérea, protocolos de transmisión, y anticolisión para un sistema de identificación remoto. Estos sistemas sin contacto se basan en acoplamiento magnético, por tanto, disponen de un rango de lectura relativo no mayor a 1,1 m. Las etiquetas poseen circuitos integrados en la banda de HF (13.56 MHz), usadas principalmente para el control de acceso e identificación de artículos [2][13][14].
- ❖ **ISO/IEC 7810:** Es un estándar internacional que especifica las dimensiones de las tarjetas o etiquetas de identificación en cuatro formatos ID-1, ID-2, ID-3, ID-000 (ver tabla 2.4) [14].
- ❖ **ISO/IEC 18000:** La serie de estándares ISO especifican la interfaz aérea para la identificación mundial por RF de ítems; aquí se establecen los parámetros de comunicación entre el *tag* y los lectores de RF, esto es, la frecuencia de operación; codificaciones, modulaciones; etc., buscando asegurar un protocolo de interfaz aérea universal [2][9]. El estándar comprende 7 partes:
 - **ISO 18000-1:** Especifica los parámetros genéricos de la interfaz de aire para frecuencias aceptadas globalmente [2][9].
 - **ISO 18000-2:** Especifica los parámetros genéricos de la interfaz de aire para frecuencias globalmente aceptadas por debajo de los 135 KHz. En términos generales, el documento describe la capa física utilizada durante la comunicación entre el lector y la etiqueta. Adicionalmente, especifica el modo de comunicación HDx (Half Duplex) o FDx (Full Duplex), el método de anticolisión y los comandos que transmite el lector al *tag* y viceversa [2][9].
 - **ISO 18000-3:** Especifica los parámetros genéricos de la interfaz de aire para frecuencias globalmente aceptadas de 13.56 MHz. Básicamente, contempla dos modos, el uno que es basado del ISO 15693 con algunos cambio y mejoras. Define la capa física y el sistema de anticolisión [2][9].
 - **ISO 18000-4:** Especifica los parámetros genéricos de la interfaz de aire para frecuencias de 2.45 GHz. Especifica la capa física para etiquetas pasivas y activas [1][8].

- **ISO 18000-5:** Especifica los parámetros genéricos de la interfaz de aire para frecuencias de 5.8 GHz [2][9].
- **ISO 18000-6:** Especifica los parámetros genéricos de la interfaz de aire para frecuencias de 860 a 960 MHz [2][9].
- **ISO 18000-7:** Especifica los parámetros genéricos de la interfaz de aire para frecuencias de 433 MHz para etiquetas activas [2][9].

Formato	Dimensiones [cm]	Descripción
ID-1	8.56 X 5.4	El ID-1 especifica las dimensiones de las etiquetas con un chip incorporado. Tarjetas con un <i>chip</i> incorporado se basan en el estándar ISO 7816. Adicionalmente el ISO 7813 define el espesor de la tarjeta 0.076cm y el radio del contorno de las esquinas 0.318 cm.
ID-2	10.5 X 7.4	Es utilizado principalmente en las tarjetas de identificación en Alemania.
ID-3	12.5 X 8.8	El formato es utilizado en el mundo para el diseño de visas y pasaportes.
ID-00	2.5 X 1.5	Empleado para tarjetas SIM particularmente en los teléfonos celulares.

Tabla 2.3. Formatos para tarjetas de identificación bajo el ISO/ IEC 7810

2.7.1.2 Estándares de la EPCglobal.

La EPCglobal es una organización mundial concebida con el fin de alcanzar la estandarización de productos electrónicos a nivel global. En los años 90 se conoció con el nombre de *Auto ID Center* fundado por el Instituto tecnológico de *Massachusetts*. En el año 2003 se dividió en dos organizaciones: el *Auto ID Labs* y el UCC y la EAN fundaron el EPC, conocido como el EPCglobal continuando sus labores de estandarización de la tecnología RFID y publicando especificaciones abiertas que definen en general los requerimientos del sistema y la interfaz de comunicación [2][10]. A continuación se resumen algunas especificaciones publicadas por la EPCglobal para sistemas de identificación por RF:

- ❖ **Gen 1:** El gen 1 es la primera generación de estándares desarrollado por la EPCglobal para la tecnología RFID en la banda ISM de HF y UHF. Especifica la interfaz aérea y el protocolo de comunicación entre el lector y la etiqueta. El estándar EPC para la banda de UHF maneja dos protocolos en función de la clase de etiqueta, esto es, etiquetas clase 0 corresponden a solo lectura, mientras que etiquetas clase 1 son de lectura - escritura (WORM) que maneja protocolos diferentes.
- ❖ **Gen 2:** Se desarrolló en el año 2004 con el propósito de mejorar los estándares vigentes de la generación 1 creados por la EPCglobal y los ISO 18000-6. El Gen 2 plantea la unificación de los estándares EPC clase 0 y EPC clase 1 e ISO 18000-6, buscando consolidarse como el único estándar global y abierto para la banda de UHF. Asimismo, promete mejorar aspectos como la velocidad de lectura, reducir las dimensiones de las etiquetas en un 20 % respecto al actual, reducir las lecturas dobles y falsas utilizando algoritmos de lectura sofisticados; además, mejora aspectos de seguridad y fiabilidad en la comunicación [16][2][11].

2.7.2 Estándares y Regulaciones en Colombia

Los sistemas RFID utilizan para su comunicación ondas radioeléctricas, por tal razón, estos dispositivos son clasificados como sistemas de radio y ocupan un lugar en el espectro radio eléctrico. Esto implica que bajo ninguna circunstancia deben causar interferencia en perjuicio de otros servicios de radio fijos o móviles. La legislación Colombiana aun es incipiente en materia de regulación y reglamentación de los sistemas de identificación por ondas de RF, en la actualidad, no se tiene una normatividad concreta solo se manejan aspectos muy generales. Sin embargo, meses atrás se llegó a un acuerdo entre el Ministerio de Comunicaciones Colombiano y la EPCglobal para confirmar el uso de la banda de UHF (902 MHz a 930 MHz) para aplicaciones RFID, bajo una potencia isotrópica radiada (PIRE) de 4 Vatios, utilizando la técnica de espectro ensanchado por salto de frecuencia FHSS (*Frequency Hopping Spread Spectrum* o FHSS¹⁰); este acuerdo se publicó el 15 de marzo del año 2009¹¹ en un artículo de la EPCglobal titulado: “Estado de las regulaciones para RFID en el banda de UHF”. En la actualidad la banda de HF es la más utilizada para las aplicaciones de identificación por RF. En Colombia esta banda aún carece de legislación técnica para sistemas RFID.

De acuerdo a la resolución 797 de 2001 establecida por el Ministerio de Comunicaciones cuyo objeto es: “Atribuir frecuencias y bandas de frecuencias radioeléctricas para su uso libre por parte del público general y definir las características técnicas de operación”; en el artículo 2¹² del citado documento se presentan algunas definiciones de servicios de RF. Conforme a estas definiciones, los sistemas RFID encajarían parcial o totalmente bajo los siguientes calificativos generales: Sensor de disturbancia de campo, dispositivos de operación momentánea y servicios móviles.

2.8 APLICACIONES: MODO DE OPERACIÓN DEL MCRF 360 (355) DE MICROCHIP

EL MCRF 360 es un transpondedor pasivo diseñado para una frecuencia de operación de 13.56 MHz, fabricado por *Microchip Technology*. Es un transpondedor de bajo costos, múltiples lecturas y un amplio rango lectura. Su estructura física posee una memoria de 154 bits que pueden ser reprogramada utilizando un dispositivo de programación de contacto. Maneja una tasa o velocidad de transmisión de datos de 70 Kbps hacia el lector y utiliza codificación Manchester. Además, su circuito incorpora un capacitor interno resonante de 100pF (figura 2.9) y un chip de bajo consumo de potencia. Sus aplicaciones típicas van desde el seguimiento de libros, equipajes en aerolíneas y control de acceso [17].

¹⁰ FHSS consiste en transmitir una parte de la información en una determinada frecuencia durante un periodo de tiempo, posteriormente, se transmite otra cantidad de información a una frecuencia portadora determinada.

¹¹ Mayor información sobre las negociaciones que tiene la EPCglobal con los organismos de regulación de cada país, dirigirse a la dirección Web: http://www.epcglobalinc.org/tech/freq_reg/RFID_at_UHF_Regulations_20090318.pdf

¹² Información sobre las definiciones de servicios y la resolución 797 de 2001 expedida por el Ministerio de Comunicaciones dirigirse a la siguiente dirección Web:

http://www.mincomunicaciones.gov.co/mincom/src/user_docs/Archivos/normatividad/2001/Resolucion/R00797d2001.pdf

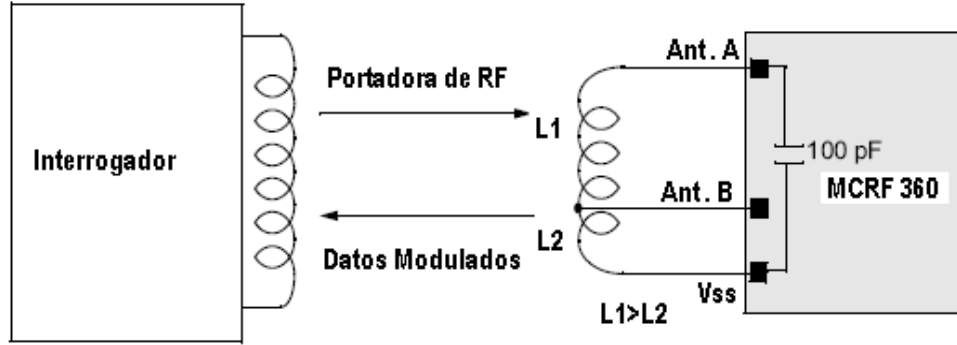


Figura 2.9. Circuito MCRF 360 de Microchip

El dispositivo es alimentado remotamente rectificando la corriente producida por el campo magnético emitido por el lector. Gracias al capacitor interno entre los terminales *Ant.A* y *Vss*, solo es necesario el uso de bobinas externas para diseñar el circuito resonante. Cuando el transpondedor entra en el campo oscilante de RF del lector generado por la antena del lector se induce por ley de Faraday¹³ un voltaje o fuerza electromotriz (FEM) sobre la superficie, es decir, sobre la bobina del transpondedor. Finalmente, el rectificador de media onda suministra una fuente propia de alimentación DC para excitar el circuito activo o chip [17].

El MCRF 360 incluye internamente un transistor de modulación colocado entre los terminales *Ant.B* y *Vss* de la figura 2.9, y tiene una pequeña resistencia del orden de los 5 Ω . En la zona de corte el transistor se comporta como un interruptor abierto y dispone de una resistencia de alto valor del orden de los 200 $M\Omega$, mientras que en la zona de saturación el transistor de modulación equivale a un interruptor cerrado. En la zona de corte, el circuito resonante LC es sintonizado a la frecuencia portadora del lector, es decir, se satisface la condición de resonancia¹⁴, por lo tanto, el voltaje desarrollado sobre el circuito resonante es máximo. En saturación, la pequeña resistencia del transistor genera un cortocircuito en bobina *L2* entre los terminales *Ant.B* y *Vss*; naturalmente, el circuito no resonará a la frecuencia portadora y permanecerá en un estado no sintonizado, en consecuencia, el voltaje sobre el circuito externo es mínimo.

La ecuación 2.1 determinada la frecuencia de no sintonización f_d utilizando la magnitud de la capacitancia total y de la inductancia $L1$ [17]. La ecuación 2.2 determina la frecuencia de sintonización f_s , donde L_T , L_M y C corresponden a la inductancia total, inductancia mutua y capacitancia del circuito resonante respectivamente. Según las ecuaciones 2.1 y 2.2, la frecuencia de desintonización f_d es mayor que la frecuencia de sintonización f_s cuando la resistencia de bajo valor genera el cortocircuito ente las dos terminales. La ecuación 2.3 es el resultado de la inductancia total:

$$f_d = \frac{1}{2\pi\sqrt{L1C}} \text{ [Hz]} \quad (2.1)$$

$$f_s = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_T C}} \text{ [Hz]} \quad (2.2)$$

$$L_T = L_1 + L_2 + L_M \text{ [H]}, \quad (2.3)$$

¹³ En el Anexo A se enuncia formalmente la ley de Faraday – Henry y Ampere aplicado a sistemas RFID.

¹⁴ En el Anexo A se estudian algunos principios electromagnéticos aplicados a los sistemas RFID, particularmente, se describen los sistemas resonantes RFID, junto con las inductancias, capacitancias, etc.

donde, L_1 es la Inductancia de la bobina del lector, C es el valor del capacitor del MCRF 360.

La señal modulada en amplitud es generada sintonizando y desintonizando el circuito resonante del transpondedor basado en el transistor de modulación. Cuando el MCRF transmite sus bits de datos acude a un estado de silencio durante 100 ms, posterior a ese tiempo el transpondedor sale de este estado y nuevamente transmite la totalidad de sus bits de datos. El ciclo continua hasta que el transpondedor sea retirado de la zona de interrogación del lector [17].

2.8.1 Técnica de Anticolisión MCRF 355

El MCRF 360 utiliza procedimientos de anticolisión para evitar pérdidas de paquetes de información. El tiempo en el que el transpondedor permanece en estado de silencio (100 ms) equivale a un modo de no sintonización, lo que implica, que el lector no establecerá comunicación con el *tag* durante ese periodo de tiempo y que estará en capacidad de recibir paquetes de información de otros transpondedores que no se encuentren en ese estado. En teoría, la técnica define la lectura de 50 transpondedores máximo de forma simultánea. No obstante, el número máximo de transpondedores leído es determinado por factores como la distancia, la orientación y el movimiento de las etiquetas. La figura 2.10, muestra el procedimiento utilizado por el MCRF 360 de *Microchip Technology* para múltiples lecturas; cuando el *Tag* 1 accede a su zona o modo de silencio, el *Tag* 2 estará en capacidad de transmitir sus datos hacia el lector. Finalmente, el *Tag* 2 entrará en el modo silencio y será el turno para que el *Tag* 3 lleve a cabo su transmisión [17].

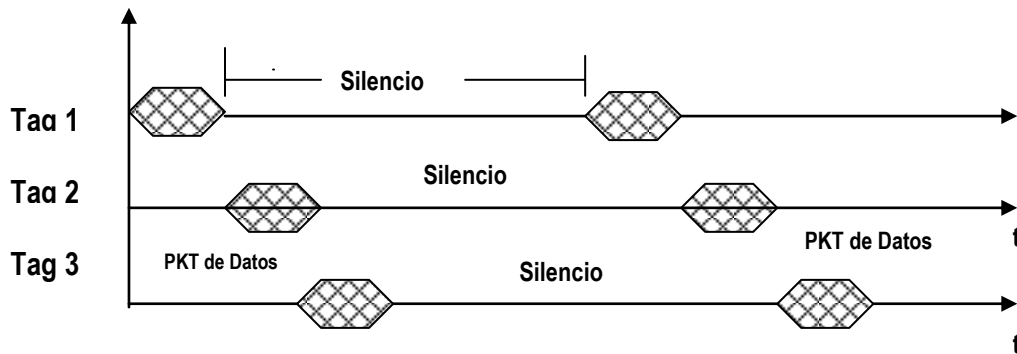


Figura 2.10. Técnica de anticolisión utilizado por el MCRF 360 [16].

2.9 MECANISMOS DE ACOPLAMIENTO

Las etiquetas pasivas no disponen de una fuente propia de energía, por eso manejan fuentes alternas de energía, con el fin de energizar el circuito *chip* y establecer la comunicación entre el transponder y el lector. Surgen así, procedimientos que permiten transferir datos y energía de forma bidireccional entre los dispositivos con base en la técnica de acoplamiento.

Elegir la técnica de acoplamiento determina los parámetros de diseño (frecuencia, rango de lectura, tipo de alimentación, rango de lectura, velocidad de transmisión, etc.) del sistema RFID y por lo tanto, las características físicas de propagación del campo electromagnético. Los mecanismos de acoplamiento utilizados en los sistemas RFID son: acoplamiento electromagnético, acoplamiento backscatter, acoplamiento magnético.

2.9.1 Acoplamiento Inductivo

La antena o bobina lectora activa las etiquetas mediante la generación de un campo de RF. Cuando parte del campo magnético penetra la sección de la microantena del *tag*, usualmente una bobina, induce un voltaje en el transpondedor¹⁵ por ley de Faraday-Henry, para activar el circuito *tag* y el chip incorporado; así, la etiqueta transmite la señal de información a la antena del lector. El flujo magnético inducido en la bobina de la etiqueta es proporcional al campo magnético generado por la corriente eléctrica del lector. Durante la comunicación, las etiquetas pasivas utilizan este mecanismo para obtener la energía suficiente para su funcionamiento [2][5]. Este modelo de operación se lleva a cabo en la zona de campo cercano de la antena del lector, puesto que la distancia entre el lector y la etiqueta es menor que $\lambda/2\pi$ si se trabaja con una frecuencia 13,56 MHz.

La figura 2.11, ilustra el esquema de un sistema inductivo basado en campo cercano en la banda LF o HF. El circuito lector incorpora un filtro pasa banda (FPB), un amplificador y un demodulador (Demo), con el fin de recuperar la señal útil del transpondedor. Entre tanto, el transpondedor utiliza un circuito resonante y un *microchip*. El condensador y la bobina constituyen un circuito tanque¹⁶ LC (figura 2.11), donde L es la bobina y C es el condensador de sintonía. El condensador (Csupply) y el diodo (Dr) componen el circuito rectificador de corriente para energizar los componentes circuitales del transpondedor. El diodo zener regula la cantidad de corriente que recibe el chip. La figura 2.12 ilustra el principio de acoplamiento inductivo.

El lector interroga y transmite simultáneamente los datos al *tag* mediante una portadora de RF en la región de campo cercano, la etiqueta transmite la información mediante técnicas de modulación de carga o esquemas de modulación digital (ASK, FSK) [2][3].

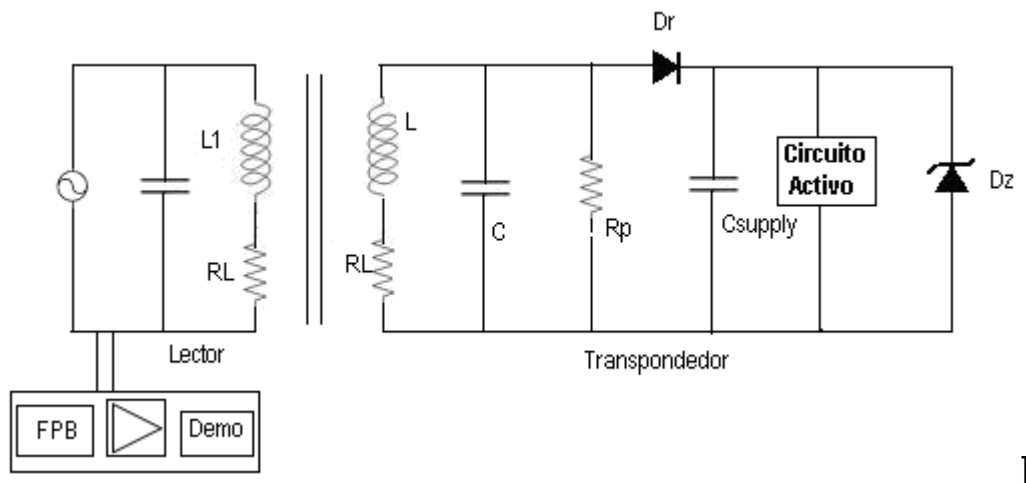


Figura 2.11. Diagrama de un sistema acoplado inductivamente [2]

La estructura de las antenas en los sistemas RFID acoplados inductivamente, suelen ser embobinados de ferrita con núcleo de aire, debido a la magnitud de la longitud de onda (frecuencia bajas) [2]. En la banda de HF y LF las dimensiones de las antenas resultan considerables, además, poco funcionales en aplicaciones comerciales RFID. Así, la longitud de onda (λ) de una antena dipolo de $\lambda/2$ a una frecuencia

¹⁵Como se mencionó, las etiquetas o *tags* de RF se conocen también como transpondedores.

¹⁶ Un circuito antirresonante o tanque equivale a un circuito LC en resonancia.

de operación de 13,56 MHz equivale a 11,061 m, lo que implica el diseño y construcción de antenas de dimensiones considerable irrealizables para aplicaciones donde intervienen sistemas de identificación por RF [2].

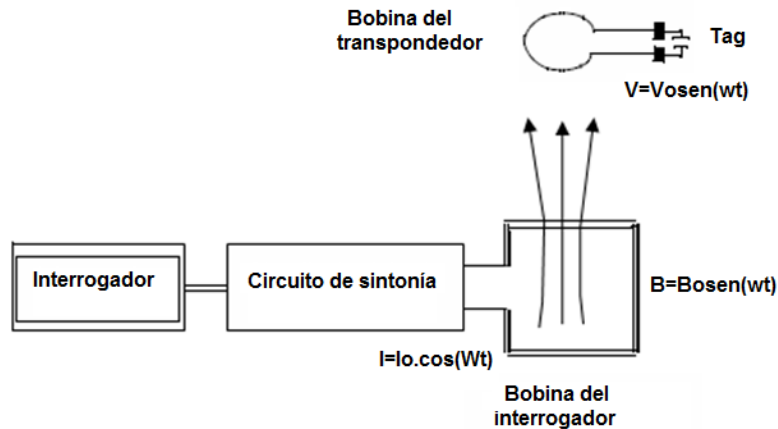


Figura 2.12. Principio físico de un sistema RFID acoplado inductivamente [2]

2.9.1.1 Clasificación de los sistemas acoplados inductivamente

Los sistemas RFID pasivos basados en acoplamiento inductivo utilizan dos mecanismos para la transmisión de datos de la etiqueta al lector (enlace de subida):

- ❖ **Modulación por Carga con Subportadora:** Los datos en el transpondedor pasivo son modulados sobre una subportadora cuya frecuencia es obtenida mediante un número entero de la señal portadora del lector, incluso una banda de frecuencia diferente es utilizada. En Europa es usual utilizar la banda SRD (Short Range Device, Dispositivos de Corto Alcance). La tecnología de modulación con subportadora origina dos bandas laterales (f_{lb} y f_{sb}) a una distancia f_s de la frecuencia resonante del lector (f_{lector}) como se muestra en la figura 2.13, destinadas al transporte de información y recuperar los datos, lo que reduce significativamente la complejidad en la construcción de este tipo de circuitos, el lector detecta naturalmente los cambios de amplitud de voltaje y los interpreta como una modulación en amplitud [2][5].
-
- ❖ **Armónicos:** Durante la transmisión el tag requiere de un divisor de frecuencias y un modulador para emitir la señal a la frecuencia del primer armónico f_1 hacia el lector. La técnica de transmisión utiliza los armónicos de la frecuencia fundamental del lector f_c . Así, f_c establece varios armónicos con amplitudes V_i donde i corresponde a valores 1, 2, 3 y con frecuencias derivadas de divisiones enteras. No suele ser común este procedimiento en aplicaciones [2].

2.9.1.2 Acoplamiento Electromagnético

Los sistemas de transmisión en la banda de UHF¹⁹ y microondas disponen de rangos de lectura superiores a 1m, utilizando acoplamiento electromagnético o *backscatter* en la región de campo lejano [5][18].

¹⁹ La banda de ultra alta frecuencia (UHF) en sistemas RFID corresponde a 865-868 MHz en Europa y 902-928 MHz en EEUU y Colombia de 902 MHz a 928 MHz.

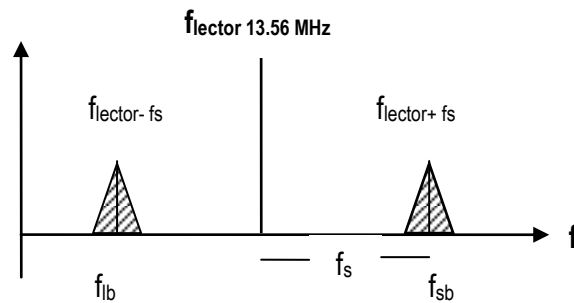


Figura 2.13. Bandas laterales generadas por la modulación de carga con subportadora.

El rango de lectura típico es del orden de los 3 m utilizando etiquetas pasivas y aproximadamente 20 m con etiquetas activas [15][2]. Los sistemas de RF que trabajan en estas bandas tienen una longitud de onda pequeña, lo que permite el diseño de antenas con dimensiones reducidas y más eficientes.

El acoplamiento *backscatter* consiste en reflejar o dispersar la señal de la etiqueta hacia el lector con la misma frecuencia de transmisión, sin embargo, la información contenida es modificada. La etiqueta responde al lector con la misma frecuencia de transmisión pero durante la comunicación utilizan turnos entre sí, este modo de transmisión es conocido como *half-duplex*. Cuando la antena del transpondedor entra en estado de resonancia con la señal del lector una reflexión mayor de la señal ocurre y el transpondedor modifica su estado de silencio al recibir energía [2].

La potencia P_1 en un sistema *backscatter* (figura 2.14) es transmitida por el lector, el efecto del canal de comunicaciones conlleva a la reducción del nivel de potencia (P'_1). La cantidad de energía obtenida es función de las pérdidas de espacio libre de Friss (ecuación 2.4). Cuando la antena dipolo del transpondedor detecta la presencia de esta energía (P'_1) rectifica el voltaje temporal para energizar el chip de la etiqueta.

$$Lfs(dB) = 20\text{Log}(d)_{Km} + 20\text{Log} f - 10\text{Log}(Grx)_{dB} - 10\text{Log}(Gtx)_{dB} - 147.5 \text{ [dB]}, \quad (2.4)$$

donde, d representa la distancia desde el transmisor al receptor, f es la frecuencia de operación, G_{tx} y G_{rx} corresponden a la ganancia de la antena transmisora y receptoras respectivamente.

Finalmente, el acoplador direccional (A.D) figura 2.14 se utiliza para dirigir la señal electromagnética de retorno del transpondedor afectada por el medio de transmisión. El lector detecta la presencia de la señal de retorno debido a la disminución del nivel de señal recibido.

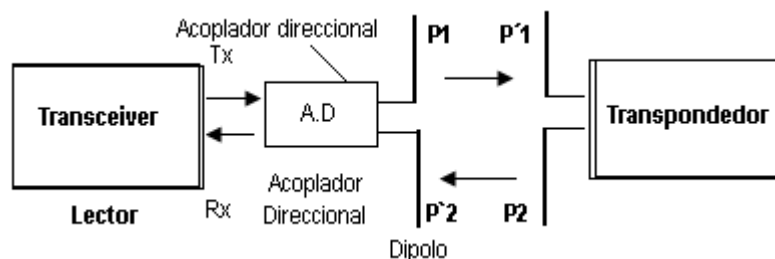


Figura 2.14. Funcionamiento de un sistema RFID pasivo en modo *backscatter* [2]

2.9.1.3 Acoplamiento Cercano

El acoplamiento cercano (región reactiva) considera rangos de lectura comprendidos entre 0,1 cm. y 1 cm. La proximidad de la etiqueta al lector permite que el funcionamiento sea equivalente al comportamiento de un transformador.

La proximidad entre lector y la etiqueta, además del intenso campo magnético generado, producen un nivel eficiente de transferencia de potencia. En consecuencia, este tipo de sistemas comúnmente integran en el transpondedor un chip más sofisticado (microprocesador) que requiere de un alto consumo de potencia [2][18], principal diferencia con los sistemas inductivos y *backscatter*.

2.10 EFECTOS DE LA COMUNICACIÓN ENTRE EL LECTOR Y EL TRANSPONDEDOR

La señal de radio durante el proceso de comunicación etiqueta - lector o lector- etiqueta, es afectada por diversos obstáculos, ruido, interferencias que afectan la transmisión de los datos. Un porcentaje de la energía transmitida por la onda es absorbida por algunos materiales y por factores naturales (humedad, espacio, lluvia, etc.), lo que resulta en pérdidas de potencia sobre el canal de comunicaciones. Adicionalmente, los obstáculos próximos a la etiquetas reflejan la señal fundamental procedente del lector de RF, originando que la antena del *tag* reciba armónicos o múltiples caminos de la señal original (multitrayecto) [12]. Particularmente los efectos de la propagación multitrayecto son evidentes a frecuencias de UHF y microondas y en la región de campo lejano. En caso este caso se trabaja en la región de campo cercano a una frecuencia de 13,56 MHz y a una distancia menor a 1 m entre el lector y el transpondedor lo cual permite ignorar los efectos multitrayecto.

La figura 2.15 muestra un sistema RFID en la banda de microondas. El lector de RF emite una OE en todas las direcciones con cierto nivel de potencia P_{IRE} . La antena de *tag* recibe la señal electromagnética con un cierto nivel de potencia P_1 y reradia la señal hacia la antena del lector con un nivel de potencia P_s debido a las pérdidas de espacio libre, P_s es proporcional a la densidad de potencia y al coeficiente de dispersión ϕ [2]; su magnitud depende de la intensidad de campo eléctrico $E(r)$ y de la distancia r entre el lector y el *tag*.; P_3 es la señal útil de retorno que alcanza el lector y G_{tx} y G_{rx} son las ganancias de las antenas respectivamente.

$$P_s = S \cdot \phi \quad [W], \quad (2.5)$$

donde, S es la densidad de potencia y ϕ es el coeficiente de dispersión el cual es función de la longitud de onda de la señal, del tipo de polarización, de las dimensiones del objeto, la composición y su forma [12].

La densidad de potencia de retorno S_d de la onda reflejada en la antena lectora se calcula con la ecuación 2.6:

$$S_d = \frac{P_s}{4\pi r^2} = \frac{S\phi}{4\pi r^2}, \quad (2.6)$$

donde, P_s es la potencia reflejada por la antena de la etiqueta y r distancia entre ambas antenas.

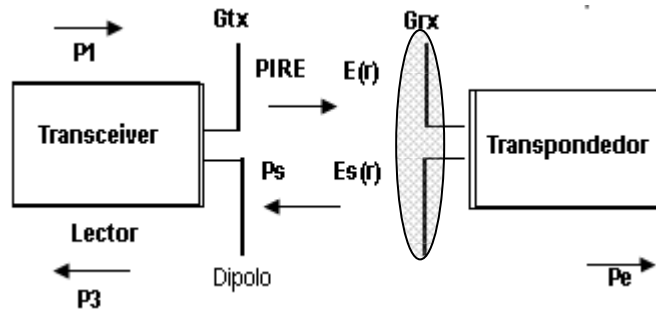


Figura 2.15. Comunicación de un sistema RFID en la banda de microondas [2][5]

2.11 COMPORTAMIENTO DE LAS ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS FRENTE A LOS OBJETOS

Un objeto tiene un cierto comportamiento, absorbente, reflexivo o atenuante, cuando la señal radio es dirigida hacia él. Esto sugiere un estudio de la estructura y composición de los objetos para observar el comportamiento de la OE frente a la estructura de los materiales. La tabla 2.5 describe en general el comportamiento y características de algunos materiales.

Material	Comportamiento de la Señal de RF
Vidrio	Refleja y penetra
aluminio	Reflexión
Cuerpo Humano	Reflexión y absorción
Elementos Metálicos	Reflexión
Papel	No afecta la señal
Plástico	No afecta la señal, efecto dieléctrico
Madera	No afecta la señal, efecto dieléctrico
Líquidos Conductivos	Absorción

Tabla 2.4. Efecto de algunos materiales respecto a la señal radio

2.12 DISEÑO BÁSICO: SISTEMA INDUCTIVO

Se desea diseñar un sistema inductivo RFID utilizando el circuito transpondedor MCRF 355/360 de *Microchip Technology* (ver sección 2.8). De acuerdo al modo de operación transpondedor, se determinarán los parámetros fundamentales de diseño, de tal modo que entre el lector y el transpondedor se obtenga una distancia efectiva de lectura de 90 cm. El diseño propone calcular el factor de calidad, la inductancia de las antenas, el capacitor de sintonía, la intensidad de campo magnético, el flujo magnético y la corriente, basados en los datos que maneja el transpondedor. El MCRF 355 de *Microchip Technology* es un transpondedor inductivo cuya frecuencia portadora es de 13,56 MHz. El voltaje AC de activación es de 4 Vpp (Voltios pico a pico) y una tasa de transmisión de datos de 70 Kbps

Las bobinas se caracterizan por su reducido número de vueltas, 4 Vueltas en total.

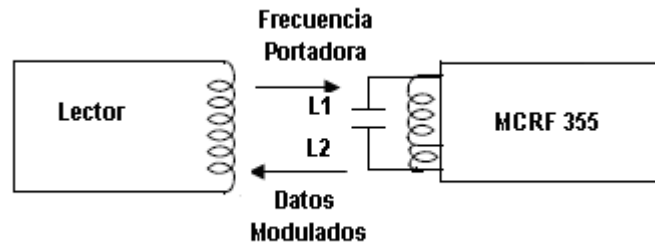


Figura 2. 16. Transpondedor MCRF 355/360 de Microchip con dos bobinas en serie L1 y L2 [16]

SOLUCIÓN:

Paso 1. Se determina el factor de calidad máximo de la bobina. El circuito de la figura 2.16 es sintonizado a una frecuencia de 13,56 MHz equivalente a la frecuencia de la portadora f_c . El ancho de banda mínimo requerido por la antena lectora es el doble de la tasa de datos del MCRF, esto es, $B_{mín} = 140\text{KHz}$.

$$Q_{máx} = \frac{f_c}{B_{mín}} = \frac{13.56\text{MHz}}{140\text{KHz}} = 96.85,$$

donde, $Q_{máx}$ es el factor de calidad máximo y $B_{mín}$ es el ancho de banda mínimo.

Sin bien, el incremento en el factor de calidad aumenta la distancia de lectura, es conveniente adoptar un valor adecuado de Q lo más alto posible sin exceder un límite, de lo contrario ocasionará altos voltajes fáciles de obtener en teoría, pero difíciles de aislar en la bobina o en el capacitor de sintonía en la práctica. Además, un factor Q muy alto torna crítica la sintonización, lo que implica el diseño de circuitos con componentes muy estables y con una tolerancia casi nula, con costos muy altos.

Paso 2. Se determina el tamaño de antena rectangular del transpondedor.

El estándar internacional ISO 7810 define cuatro formatos para las tarjetas de identificación ID-1, ID-2, ID-3, ID4. El formato elegido y acorde al diseño es el ID-1(ver sección 2.6.1.1). Además, el estándar RFID ISO 14443 y ISO 15693 utiliza el formato ID-1 que especifica las dimensiones de la tarjeta de identificación: 85,60 × 53,98 mm. La magnitud de la superficie equivale a:

$$S = 85.6 * 53.98 = 0.00462\text{m}^2,$$

donde, S es el área de la antena rectangular.

Paso 3. Cálculo del valor del campo Magnético.

El campo magnético necesario para activar la etiqueta es:

$$B = \frac{V}{2\pi f N Q S \cos \theta} = \frac{\frac{4}{\sqrt{2}} V_{RMS}}{2\pi(13.56\text{MHz})(4)(50)(0.0046\text{m}^2)(\cos 0^\circ)} = 35.92 \frac{\text{nWb}}{\text{m}^2},$$

donde, V es el voltaje de activación requerido para activar el tag, N es el número de vueltas de la bobina del tag y θ es el ángulo del campo que llega a la antena.

Con base en este resultado, la intensidad de campo magnético H es:

$$H = \frac{B}{\mu_0} = \frac{35.92 \frac{\text{nWb}}{\text{m}^2}}{4\pi \times 10^{-7} \frac{\text{H}}{\text{m}}} = 28.65 \frac{\text{A}}{\text{m}},$$

donde, B es la magnitud del campo magnético y μ es la permeabilidad del espacio libre.

Paso 4. Se calcula el número de Amperio - vueltas del la bobina del lector

La ecuación A.10 (Anexo A) se deduce el número de Amperio-vueltas:

$$(NI) = \frac{2B(a^2 + r^2)^{3/2}}{\mu a^2} = \frac{2(35.92 \times 10^{-9})(0.13^2 + 0.8^2)^{3/2}}{4\pi \times 10^{-7}} = 1.8 \text{ (Amperios- Vuelta)},$$

donde, NI es el número de amperios vuelta, a es el radio del bucle y r es la distancia desde el centro del bucle a un punto P a lo largo del eje.

El resultado sugiere que son necesarios 1.8 Amperios para 1 vuelta, y para dos vueltas 0.9 Amperios. Para 3 y 4 vueltas son necesarios 0.8 y 0.45 Amperios respectivamente. Si se pretende extender la distancia de lectura es válido adoptar dos alternativas: Incrementar el número de Amperios – vuelta o aumentar el radio de la bobina. En el primer caso el número de Amperio – vueltas alcanzaría valores muy altos no prácticos durante la etapa de diseño. El segundo caso plantea un incremento del radio de la bobina (tamaño de la etiqueta) provocando una disminución del número de Amperios – Vueltas. Esto significa, que para una misma distancia de lectura, el incremento del radio de la bobina disminuirá la cantidad de Amperios - Vueltas.

Paso 5. Determinar el valor de la inductancia de la bobina de la antena rectangular de lazo resonante

La ecuación empírica (2.7) es útil para calcular un valor aproximado de la inductancia L de una antena de lazo resonante cuadrada de una sola vuelta. La antena rectangular se aprecia en la figura 2.17:

$$L = 4 \left[l_1 \ln \left(\frac{2A}{a(l_1 + l_2)} \right) + \ln \left(\frac{2A}{a(l_3 + l_2)} \right) + 2((a + l_2) - (l_3 + l_1)) \right] \quad [nH], \quad (2.7)$$

donde:

$$l_3 = (l_3^2 + l_1^2)^{1/2} \text{ [cm]}, \quad (2.8)$$

$$A = l_1 * l_3 \text{ [cm}^2\text{]}. \quad (2.9)$$

y l_3 y l_1 son las longitudes de la antena, a es el espesor y A es el área de la superficie. El valor de L , conforme a las dimensiones definidas por el ISO 7810, es:

$$L = 4 \left[8.56 \ln \left(\frac{2(45.9)}{0.076(18.7)} \right) + 5.398 \ln \left(\frac{2(45.9)}{0.076(15.518)} \right) + 2(0.076 + 10.12 - (5.398 + 8.56)) \right] = 207 \text{ nH}$$

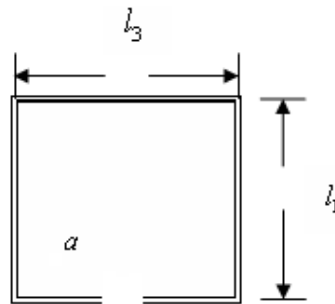


Figura 2.17. Representación de una antena lazo rectangular de una vuelta.

Los valores inherentes al MCRF 355, sugieren una antena rectangular de cuatro vueltas a esa frecuencia, sin embargo, el resultado de la ecuación (2.7) suministra una aproximación práctica para el valor de la inductancia independiente del número de vueltas de la bobina. Si se requiere un valor de inductancia más preciso es indispensable tener en cuenta los efectos de la inductancia mutua de cada vuelta, resultado del campo magnético producido por conductores adyacentes. Cuando se utiliza la ecuación (2.7) el margen o porcentaje de error presente es aproximadamente un 9,5%, comparado con el cálculo que incluye el efecto de la inductancia mutua [16].

Un incremento en la inductancia de la bobina es admisible construyendo un inductor con un núcleo de ferrita. La antena de lazo cerrado de un lector y de un transpondedor son modelados bajo circuitos resonantes LC serie o paralelo y sintonizados a la frecuencia de operación para transferir la máxima energía dado el fenómeno de resonancia, de esta forma se obtiene la máxima distancia de lectura desde el interrogador. Si el diseño de la antena lectora requiere bajos costos y fácil implementación se utiliza comúnmente un circuito resonante serie, cuyas propiedades eléctricas se destacan por una impedancia mínima y por una corriente máxima a la frecuencia de resonancia. Mientras que un circuito resonante paralelo tiene una impedancia máxima y un voltaje máximo a la frecuencia de resonancia.

Paso 6. Corriente eléctrica y flujo magnético que circular por la bobina o antena lazo

El flujo magnético se calcula con base en la magnitud del campo magnético B y la superficie que atraviesa dicho flujo. Se considera flujo máximo cuando el ángulo θ es nulo, por lo tanto, el flujo equivale:

$$\Phi = BS \cos \theta = 35.92 \frac{nWb}{m^2} * 0.00462m^2 * 1 = 0.16nWb ,$$

donde, Φ es la cantidad de flujo magnético que rodea la superficie.

La corriente eléctrica i que circula en general por la bobina del transpondedor o del lector se determina mediante la ecuación 2.10. El valor de la inductancia L se determinó en el paso 5.

$$i = \frac{\Phi}{L} \quad [A], \quad (2.10)$$

$$i = \frac{0.16mWb}{207nH} = 0.773mA ,$$

Paso 7. Cálculo de la inductancia mutua M

La inductancia mutua se define como la capacidad de la bobina para inducir un voltaje en el otro conductor, se produce por un campo magnético B sobre una superficie S , se define mediante la ecuación (2.11). donde N, i , corresponden al número de vueltas y a la corriente respectivamente.

$$M = \frac{BNS}{i} \quad [H] \quad (2.11)$$

$$M = \frac{(35.92 \frac{nWb}{m^2})(4)(0.16m^2)}{0.773mA} = 0.0297mH ,$$

Paso 8. Cálculo del capacitor de sintonía.

Una vez determinada la inductancia de la bobina, el capacitor de sintonía del circuito resonante se calcula despejando el valor de la frecuencia de resonancia:

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} ,$$

donde, C es el capacitor de sintonía y L corresponde a la inductancia de la bobina. Despejando C :

$$C = \frac{1}{L(2\pi f_c)^2} = \frac{1}{207n(2\pi 13.56M)^2} = 665.5pF$$

Paso 9. Materiales

En las instalaciones de la biblioteca es común encontrar materiales conductores y aislantes que atenúan parcial o totalmente el nivel de señal. A continuación se calcula la profundidad de penetración de la onda para algunos materiales utilizando la ecuación 2.16.

Conceptualmente se dice que un material es buen conductor si satisface la ecuación 2.13 [50]. La expresión 2.14 determina si un material es dieléctrico. La profundidad de penetración (d) de la onda depende exclusivamente de las características intrínsecas del material en el que se propaga, de su composición interna, la frecuencia y la permitividad absoluta. Es posible determinar si una onda es capaz de penetrar un material mediante la ecuación 2.15.

$$\left(\frac{\sigma}{\omega\varepsilon}\right)^2 \ll 1 \quad (2.13)$$

$$\left(\frac{\sigma}{\omega\varepsilon}\right)^2 \ll 1, \quad (2.14)$$

$$d = \frac{1}{\alpha} \text{ m}, \quad (2.15)$$

donde, σ corresponde a la conductividad eléctrica (recíproco de la resistividad eléctrica), ω es la frecuencia en radianes (13,56 MHz) y ε es la permitividad absoluta del material.

La constante de atenuación α se calcula mediante la ecuación 2.16:

$$\alpha = \omega \sqrt{\frac{\mu_o \cdot \varepsilon_o}{2}} \sqrt{\frac{\mu_r \cdot \varepsilon_r}{2}} \sqrt{-1 + \sqrt{1 + \left(\frac{\sigma}{\omega\varepsilon}\right)^2}} \left[\frac{\text{Neper}}{\text{m}} \right], \quad (2.16)$$

En la tabla 2.6, se muestran los resultados de la profundidad de penetración para la madera, vidrio o Tejido humano en función de la frecuencia, asimismo, los valores relativos de permitividad relativa ε_r y permeabilidad relativa μ_r para cada material; en cualquier caso se asume un valor de permeabilidad magnética relativa aproximadamente igual a uno, excepto los materiales ferromagnéticos como el hierro, acero y níquel [49], para el vacío la permitividad y permeabilidad corresponden a $8,85 \times 10^{-12}$ F/m y $4\pi \times 10^{-7}$ H/m respectivamente.

Permitividad Relativa (ε_r)	Valor	Resistividad eléctrica (ρ)	Valor [$\Omega \cdot m$]	d [m]
Madera triplex	2.1 – 8	Madera	$10^8 - 10^{11}$	La madera no opone oposición a la onda, es un dieléctrico.
Vidrio Ordinario	7-9	Vidrio Ordinario	$10^{10} - 10^{14}$	El vidrio no opone oposición a la onda, es un dieléctrico.”
Tejido Corporal	8	Tejido Corporal	6.75-18	No afecta la comunicación, la onda a esta frecuencia es penetrante en algunos tejidos.

Tabla 2.5. Distancia de penetración de la onda para algunos elementos [49]

3 SIMULACIÓN, PRUEBAS Y RESULTADOS

Uno de los primeros pasos, necesarios para la evaluación y análisis de un sistema RFID, es la elección de un programa de simulación que permita analizar el comportamiento de un escenario modificando ciertos parámetros fundamentales de diseño, con el fin de crear un diagnóstico para la ejecución de un diseño. Con este propósito, el capítulo III concibe varios escenarios de simulación obtenidos de las herramientas *software*, se busca observar la conducta de un sistema RFID inductivo cuando son manipuladas algunas variables propias de cada herramienta para generar las recomendaciones y especificaciones de diseño.

3.1 HERRAMIENTAS DE SIMULACIÓN

En la actualidad es notable aún, la carencia de herramientas de simulación y planeación para sistemas RFID, debido a la reciente acogida por parte de empresas y compañías. Esta situación corroboró los resultados del estado del arte, donde se concluyó la ausencia de herramientas destinadas a simular sistemas RFID. Sin embargo, se recolectó un conjunto de herramientas como Matlab, NS-2, IISIM, WinIQSIM NCTUNS 3.0, de las cuales WinIQSIM y IISIM se ajustaron a los requerimientos y objetivos propuestos de este trabajo.

Analizadas las principales características, utilidades y beneficios de cada herramienta se optó por la selección de las siguientes: IISIM (programa de Simulación para sistema Identificación Inductivo) de la firma *Nedap*. El IISIM es una herramienta *software* propicia para modelar y planear sistemas de identificación inductivos, valiosa en aquellas configuraciones en donde el transpondedor es de tipo pasivo y operan en bajas (LF) y altas frecuencias (HF). El programa de simulación es capaz de predecir el rango de lectura y de activación de una etiqueta RFID cuando es afectada por ruido artificial o perturbaciones.

La otra herramienta utilizada es el simulador WinIQSIM de la compañía *Rhode&Swartz*, para la simulación de señales en fase y cuadratura (I/Q) el cual permite observar y analizar la señal de información a través del canal inalámbrico modificando algunas variables de diseño inherentes al canal y a la señal binaria transmitida por el interrogador, bajo un escenario de ruido.

Es importante señalar que las herramientas manejan una licencia *software* de funcionamiento. El IISIM se distribuye bajo licencia de código abierto (en inglés, *open source*²⁰); mientras WinIQSIM se distribuye bajo licencia de libre de acceso (*freeware*²¹).

La tabla 3.1 muestra la comparación técnica de las dos herramientas de simulación que permitirán el análisis de los sistemas de comunicación RFID.

²⁰ Es un *software* libre donde su código fuente puede ser modificado y revisado para beneficio propio y del público en general. Si se desea obtener documentación detallada sobre licencia *Open Source* o código abierto es preciso dirigirse a: www.opensource.org

²¹ *Software* distribuido sin costo y de forma ilimitada. Maneja una licencia de uso, en donde especifican la no modificación de la aplicación durante la redistribución. La venta o uso del *software* con fines comerciales es desautorizado por las normas de esta licencia.

Nombre	Orientación y área de uso	Ventajas	Desventajas
IISIM	<ul style="list-style-type: none"> -Calcula el rango de activación y distancia de lectura de una etiqueta afectada por ruido artificial e interferencias de radio. -Analiza la capa física inductiva de un sistema RFID de HF y LF. 	<ul style="list-style-type: none"> -La herramienta permite adicionar valores de ruido artificial y fuentes de interferencia externas. -Ideal para comparar y analizar sistemas RFID en función de la distancia de lectura, intensidad de campo. -Código abierto o libre. 	<ul style="list-style-type: none"> -Calcula la distancia máxima de lectura solo para el caso en donde el tag se encuentra óptimamente acoplado con la antena del lector. -Carece de interfaz gráfica de usuario. Funciona bajo consola de DOS del sistema operativo Windows. -Diseñado solo para banda de frecuencia de HF y LF.
WinIQSIM	Analiza y evalúa los sistemas de transmisión digital mediante diagramas cualitativos de desempeño (diagrama de ojo, constelación en fase y cuadratura) considerando distorsiones, ruidos, filtros, y amplificadores.	<ul style="list-style-type: none"> -La interfaz gráfica de usuario permite fácilmente el manejo de la herramienta para tecnologías de comunicación inalámbrica. -Genera diagramas cualitativos (constelación, ojo y amplitud) de desempeño para mostrar los resultados. -Permite elegir entre diferentes tipos de modulación y filtros. 	<ul style="list-style-type: none"> -Carece de un bloque de codificación de línea en el diagrama de comunicación -Permite introducir un patrón o mensaje binario tan solo de 69 unos y ceros. - No permite modificar el código para introducir mejoras al software, ya que es un código propietario.

Tabla 3. 1. Descripción de las herramientas de simulación

3.2 MODELO GENERAL DE SIMULACIÓN

El propósito del modelo general es realizar una comparación con otros escenarios de simulación cuando se modifican los parámetros introducidos en las dos herramientas (IISIM y WinIQSIM). De este modo, es posible evaluar el comportamiento y desempeño de un sistema RFID respecto a la distancia de activación, rango de lectura e intensidades de campo magnético del lector y el transpondedor. Los resultados obtenidos permitirán monitorear y diagnosticar el comportamiento de algunas variables como: intensidad de campo, relación señal a ruido.

Los parámetros introducidos en el modelo general de simulación, se basan en cálculos teóricos, valores prácticos de antenas, inductancias, intensidades de campo reglamentarias, capacitancias, entre otros, sugeridos por fabricantes de la tecnología RFID como: *Microchip Technology*, *Philip* y *Texas Instrument*; también se basa en los estándares de la tecnología.

La figura 3.1 muestra el diagrama circuital de una etiqueta utilizado por el IISIM para realizar los cálculos.

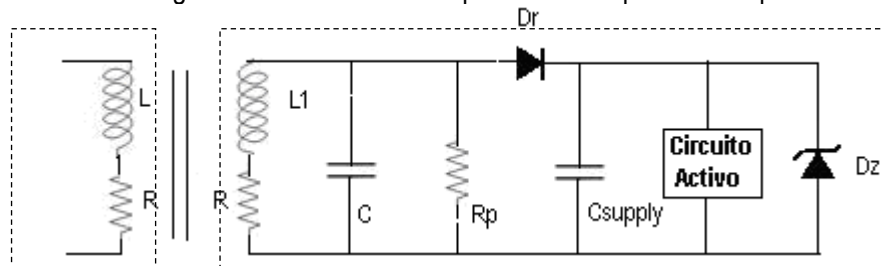


Figura 3.1. Circuito equivalente de un transpondedor para el IISIM

3.3 RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN CON EL IISIM

En esta sección se muestran los resultados obtenidos a partir de las simulaciones realizadas bajo diversos escenarios de simulación, es decir, se modifican los parámetros de configuración ingresados en el IISIM como el factor de calidad, la intensidad de campo magnético y las dimensiones de la antena del transpondedor, de esta forma se busca observar el comportamiento y realizar una comparación directa con el modelo de simulación. Los elementos que componen el circuito de la figura 3.1 son:

- **Csupply**: Su propósito es almacenar la energía necesaria para la activación del circuito activo.
- **Rp**: Resistencia en paralelo que representa las pérdidas ocasionadas por la antena del tag.
- **L ,L1**: Son las antenas del lector y el transpondedor respectivamente representado por una bobina.
- **Cto Activo**: Representa un microchip integrado con una memoria EEPROM.
- **Dz**: Actúa como un circuito regulador para protección del circuito activo.
- **Dr**: Diodo utilizado como rectificador de media onda.
- **C**: Capacitor de sintonía del transpondedor.
- **R**: Resistencia en serie.

La tabla 3.1 muestra los valores de configuración utilizados por el modelo general:

Parámetros o Datos de Entrada	Valor	Unidades
Frecuencia de trabajo (Working Frequency)	13.56	MHz
Intensidad de Campo Magnético (H_{max})	42	dBu(A / m)
Distancia Medida Regulada ($d_{measuring}$)	10	m
Ancho de Banda de Ruido en el Receptor (BW Receiver)	30	KHz
Relación Señal a ruido Mínima para la Detección (SNR _{min})	10	dB
Largo del lazo Tx/Rx (Length Tx/Rx Loop)	0.71	m
Ancho del lazo Tx/Rx (width Tx/Rx Loop)	0.27	m
Inductancia Propia Tx/Rx (Lm_{Tx})	0.9×10^{-6}	H / m
Factor de Calidad Tx/Rx(Q_{Tx})	60 (80)	
Relación Portadora a densidad de Ruido en Tx (CNRTx)	150	dBc / Hz
Voltaje Mínimo del Etiqueta ($V_{mín}$)	2.82	Vmín
Voltaje Máximo del Tag ($V_{máx}$)	5.64	V
Frecuencia Subportadora (Subcarrier Frequency)	400	KHz
Potencia Disipada por el Chip- $V_{mín}$ (Power Chip)	100	μW
Índice de Modulación (Modulation Index)	0.8	
Capacitor de Sintonía del Etiqueta ($C_{tag\ tuning}$)	190	pF

Largo de la Bobina del Etiqueta (<i>Length tag coil d</i>)	0.085	<i>m</i>
Ancho de la Bobina del Etiqueta (<i>Width tag coil e</i>)	0.054	<i>m</i>
Factor de Calidad de la bobina Tag (<i>Q factor tagcoil</i>)	70	
Inductancia Propia del Etiqueta (<i>Lm_Tag</i>)	0.9×10^{-6}	<i>H / m</i>
Tolerancia de la Frecuencia del Tag (<i>Tolerante tag</i>)	0.51	%
Nivel de Ruido Externo (<i>Ext Noise</i>)	24	$dB\mu(V / m) / Hz$
Interferencia Externa en la LSB (<i>External Interference LSB</i>)	30	$dB\mu(V / m) / Hz$
Interferencia Externa en la USB (<i>External Interference USB</i>)	30	$dB\mu(V / m) / Hz$
Rango de Inicio de Lectura	0.10	<i>m</i>

Tabla 3.2. Parámetros de configuración del simulador IISIM

Una vez Ingresados los parámetros de entrada, los resultados suministrados en el simulador se consignan en las tablas 3.2 y 3.3

Parámetros	Unidades	Resultados		
Corriente Máxima de la Antena Tx	<i>A</i>	1.08		
H_ruido Tx en 1Hz	$dB\mu A / m$	-50.08		
Potencia de Salida del Transmisor	<i>W</i>	2.2		
Tolerancia de la Frecuencia	%	-	0	+
H _{mín}	<i>A / m</i>	0.062	0.051	0.061
V _{eff}	m^3	5.81	7.03	5.82
m _{sc} LSB	μAm^2	41.36	35.11	30.34
m _{sc} USB	μAm^2	31.6	36	41.73
Distancia de Activación	<i>m</i>	0.75	0.81	0.76
H _{eh} LSB	$dB\mu A / m$	21.79	18.64	18.97
H _{eh} USB	$dB\mu A / m$	19.46	18.86	21.74

Tabla 3.3. Parámetros del tag y del lector. La distancia activación para los casos de tolerancia.

En los sistemas de identificación inductivos, la distancia de activación máxima oscila entre 90 o 100 cm como lo muestra la tabla 3.3, sin embargo, para obtener este valor, los niveles de potencia y de corriente deben ser altos, 2.2 W y 1.1 A respectivamente, lo que implica que la potencia emitida por el dispositivo es disipada y no es aprovechada de forma eficientemente. El valor de la intensidad de campo magnético es el parámetro general que controla la intensidad de corriente de la antena y la potencia de transmisión. En la tabla 3.3, *H_{mín}* es el valor mínimo de intensidad de campo magnético necesario para que el tag realice el proceso de modulación de datos de retorno, con el fin de transmitir la información al lector. El volumen magnético efectivo (V_{eff}), el momento dipolar magnético (m_{sc}) y la intensidad de campo equivalente homogéneo (H_{eh}) en el plano de la antena del lector se determinan para tres casos

particulares de tolerancia (%): la frecuencia de resonancia por encima de su valor nominal, frecuencia de resonancia por debajo de su valor y justo cuando el *tag* y el lector resuenan a dicha frecuencia.

El momento dipolar se incrementa con la corriente y con el número de vueltas de la bobina, un aumento del momento implica que la distancia de activación y la intensidad de campo se incrementan de forma proporcional; el mejor caso de tolerancia ocurre cuando no ocurren desviaciones de frecuencia, ya que en este punto se obtiene el pico máximo de corriente como se muestra en la tabla 3.3.

Parámetro	Distancia de Lectura para diversos Casos de Tolerancia [m]		
	Tol. (-)	Tol. (0)	Tol. (+)
Tolerancia en la frecuencia de resonancia			
Relación señal a ruido en el transmisor en LSB	0.75	0.75	0.75
Relación señal a ruido en el transmisor en USB	0.75	0.75	0.75
Relación señal a ruido Externa en LSB	0.65	0.65	0.6
Relación señal a ruido Externa en USB	0.60	0.65	0.65
Relación señal a Interferencia en LSB	0.75	0.8	0.75
Relación señal a Interferencia en USB	0.75	0.8	0.75

Tabla 3.4. Máximo rango de lectura afectado por ruidos e interferencias.

Los resultados de la tabla 3.2 corresponden a los parámetros del lector y del transpondedor cuando el voltaje inducido sobre los terminales del chip ($V_{mín}$) es el mínimo suficiente para comenzar su funcionamiento. El rango de activación se calcula para tres situaciones: el transpondedor sintonizado a la frecuencia portadora del lector (0), el transpondedor sintonizado por debajo del valor de la frecuencia portadora (-) y el transpondedor sintonizado por encima de la frecuencia de la portadora. Cada parámetro de las tablas anteriores se describe en el anexo B²².

La tabla 3.3, muestra el rango de lectura máximo del transpondedor afectado por diversos niveles de ruido e interferencia expresados como una relación señal a ruido (SNR_{tx} , SNR_{Ext} , SNR_{Int}). La distancia de lectura máxima es evaluada para los tres casos de tolerancia, es decir, el transpondedor sintonizado por encima de la frecuencia de resonancia (+), el transpondedor sintonizado por debajo de la frecuencia de resonancia (-) y el transpondedor sintonizado a la frecuencia de resonancia (0).

3.3.1 Análisis Gráfico

Los resultados suministrados por la simulación se grafican en función de la distancia, es decir, el *tag* ubicado gradualmente en diversas posiciones a lo largo del eje de la antena del lector, desde el rango de lectura inicial hasta alcanzar la distancia máxima de activación. Cuando el transpondedor es retirado de la zona de interrogación no será leído ni identificado por lector. Bajo este contexto, se proponen diversos escenarios de simulación con el fin de analizar el comportamiento de los sistemas RFID cuando se modifican ciertas variables o parámetros.

²² El Anexo B presenta un breve manual donde se explica el funcionamiento de las herramientas de simulación y cada uno de los parámetros o variables que intervienen.

3.3.1.1 Modelo de referencia. Intensidad de campo magnético del lector

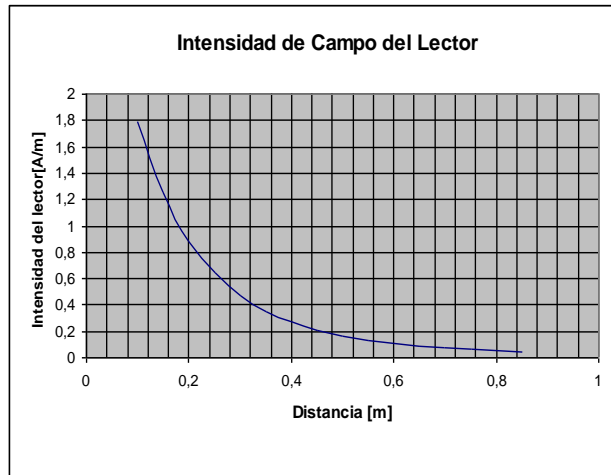


Figura 3.2. Intensidad de campo magnético del lector en función de la distancia

La figura 3.2, muestra el diagrama de intensidad de campo del lector de RF. El transpondedor se ubica sobre el eje de la antena a una distancia de la fuente de emisión de campo. Esta es la configuración más simple porque muestra el transpondedor y la antena del lector óptimamente acoplado, en consecuencia, el voltaje inducido en la bobina de la antena es máximo.

La intensidad de campo del lector y la distancia presentan una relación inversa, esto significa, que a medida que se aleja el transpondedor de la antena del lector, la intensidad de campo magnético recibida por la etiqueta disminuye, lo que implica una reducción del nivel de corriente de la antena lectora y por tanto, de la señal proveniente del interrogador. El campo magnético decrece conforme a la expresión matemática $1/r^3$, como se observa en la figura 3.2.

La distancia máxima de activación se obtuvo a 81 cm, posteriormente, el nivel de intensidad de campo recibido por el transpondedor es muy bajo, en consecuencia, el transpondedor no será activado ni leído por el campo magnético del interrogador.

3.3.1.2 Intensidad de campo magnético de la señal del transpondedor

La figura 3.3, representa el comportamiento de la intensidad de campo del transpondedor en la banda lateral superior (USB) e inferior (LSB) bajo la influencia de la tolerancia de la frecuencia de resonancia. En el simulador, la magnitud de la tolerancia se fijó en un 0,51% de la frecuencia portadora (13,56 MHz), lo que equivale a una desviación de frecuencia de +/- 69156 Hz. Por lo tanto, para cada banda lateral modulada con tolerancia positiva (figura 3.3.a) y negativa (figura 3.3.b) son casi-semblantes.

Un incremento del factor de tolerancia implica un aumento de la desviación de frecuencia, en consecuencia, los resultados tienden a distanciarse de su valor nominal o teórico. Mientras el transpondedor se encuentre sintonizado a la frecuencia de resonancia, la magnitud de la tolerancia es igual a cero y su comportamiento será óptimo, sin embargo, esto representa una situación ideal; durante el proceso de fabricación algunos componentes como bobinas y condensadores surgen imperfecciones en su valor nominal.

Las figuras 3.3.a, 3.3.b, 3.3.c, 3.3.d, corresponden al transpondedor sintonizado a la frecuencia portadora del lector (tolerancia 0), por debajo de la frecuencia portadora (tolerancia -) y valores superiores de la frecuencia de resonancia o portadora (tolerancia +) respectivamente. El comportamiento de cada curva obedece fundamentalmente al valor de la desviación de frecuencia que afecta el óptimo desempeño del enlace de bajada (etiqueta – lector) y de subida (lector – etiqueta). Cuando no hay desviación de frecuencia la distancia de activación es máxima, alrededor de 81 cm; en las figuras 3.3.a y 3.3.b el efecto del factor de tolerancia afecta el rango de activación, es decir, la distancia desciende a 76 cm y 75 cm respectivamente. Los valores negativos de intensidad de campo en las figuras 3.3.a, 3.3.b y 3.3.c sugieren que el transpondedor salió de la zona de interrogación del lector, por consiguiente, no será activado.

La figura 3.3.d compara los niveles intensidad de campo para cada caso de tolerancia correspondiente a las bandas laterales. Se corrobora una vez más, que la distancia máxima de activación se obtiene sin efecto de tolerancia.

3.3.1.3 Relación señal portadora en la antena del lector (SCR)

Cuando se transmite y se recibe con la antena del lector surge una relación entre la señal de voltaje recibida del transpondedor y la señal de voltaje (generado por la corriente de la antena) transmitido por el interrogador. La figura 3.4, muestra las gráficas de la relación señal portadora SCR para cada banda lateral con base en los tres casos de tolerancia. La máxima distancia de activación se obtiene cuando el tag no es afectado por el factor tolerancia (figura 3.4.d), mientras que en las figuras 3.4.a y 3.4.b, el valor máximo de activación se obtiene a los 76 y 75 cm respectivamente, de este modo, el transpondedor debe ser sintonizado próximo a la frecuencia de resonancia para alcanzar el máximo desempeño. Esta situación justifica el porque la diferencia en los rangos de activación para cada curva.

Los descensos abruptos en cada una de las curvas de la figura 3.4, revelan que el tag no es activado, lo que implica, que la magnitud del campo magnético es limitado para leer la etiqueta. Así, el punto (0,8 m; 235,21 dB) de la figura 3.4.b indica que el transpondedor no recibe la suficiente energía para llevar a cabo el proceso de modulación

El voltaje inducido sobre la antena del lector por la señal del transpondedor está relacionado con la intensidad de campo magnético y a su vez con el SCR. Se demostró, que un aumento de la distancia del transpondedor implica la disminución de la intensidad de campo, por lo tanto, la magnitud del SCR disminuye en función de la distancia tal como lo muestran las figuras 3.4.a, 3.4.b, 3.4.c. Finalmente, en 3.4.a se observan los valores más altos de SCR para cada valor de distancia, sin embargo, esto no implica el mayor rango de activación. En la figura 3.4.d se comparan los SCR bajo la influencia de los tres casos de tolerancia.

3.3.1.4 Relación señal a ruido en el transmisor (SNR_{tx})

La figura 3.5 ilustra la relación señal a ruido en el transmisor bajo el efecto de la tolerancia SNR_{tx} . El ruido es originado por fuentes internas del circuito lector como la etapa de amplificación y modulación. El rango de lectura se afecta por la cantidad de ruido en el transmisor. Las figuras 3.5.a y 3.5.b, ilustran como se reduce la potencia de la señal útil a medida que aumenta la distancia desde el transpondedor a la fuente del lector. A una distancia de 75 cm (aproximadamente) ocurre un descenso abrupto en cada

una de las curvas, esto advierte que el transpondedor no se va a activar, y no será leído dentro de su zona de interrogación debido a que la energía recibida por la antena es insuficiente.

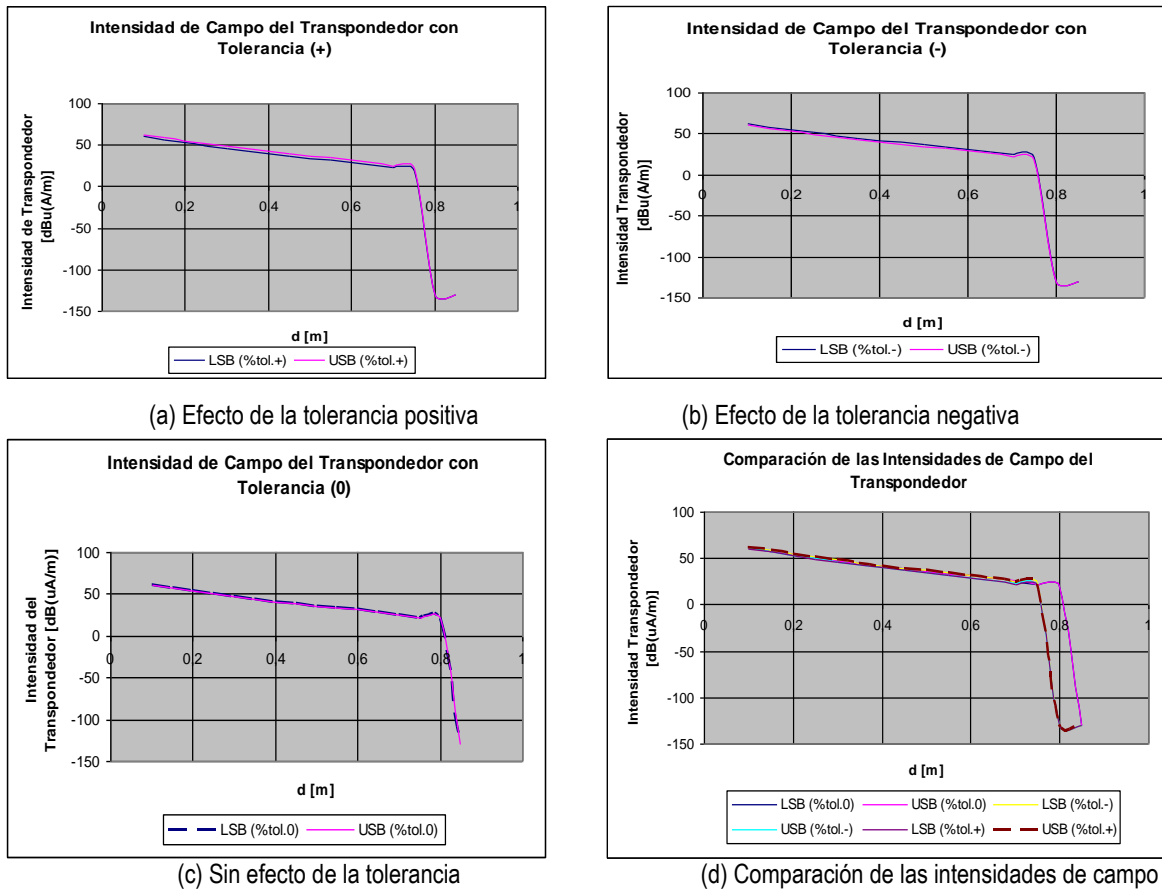


Figura 3.3. Intensidad de campo magnético de la señal del transpondedor para el modelo de referencia

En la figura 3.5.c, se observa que en el punto de activación máximo (0,81 m), la relación señal a ruido en el transmisor obtiene su valor más bajo, esto significa, que el ruido total en el transmisor aumentó, producto de las etapas de procesamiento de la señal y el incremento de la distancia. La figura 3.5.d compara los valores SNR_{Tx} para cada banda lateral bajo la influencia de la tolerancia.

3.3.1.5 Fuentes de interferencia

La figura 3.6 muestra la relación entre la señal del transpondedor y la interferencia causada por fuentes externas. La Interferencia ocurre cuando una señal de radio coincide con la banda sensible de frecuencias del lector. Las figuras 3.6.a, 3.6.b y 3.6.c representan la SNR_{Int} a través de diferentes posiciones desde el rango de lectura inicial hasta alcanzar la distancia máxima de activación bajo el efecto de la tolerancia. Incrementar el valor de la SNR_{Int} implica un aumento del rango de lectura entre el transpondedor y el lector, esto se debe a que las fuentes de interferencia no afectan considerablemente la comunicación. Cada curva presenta un descenso negativo que representa la no activación y lectura del transpondedor a esas distancias.

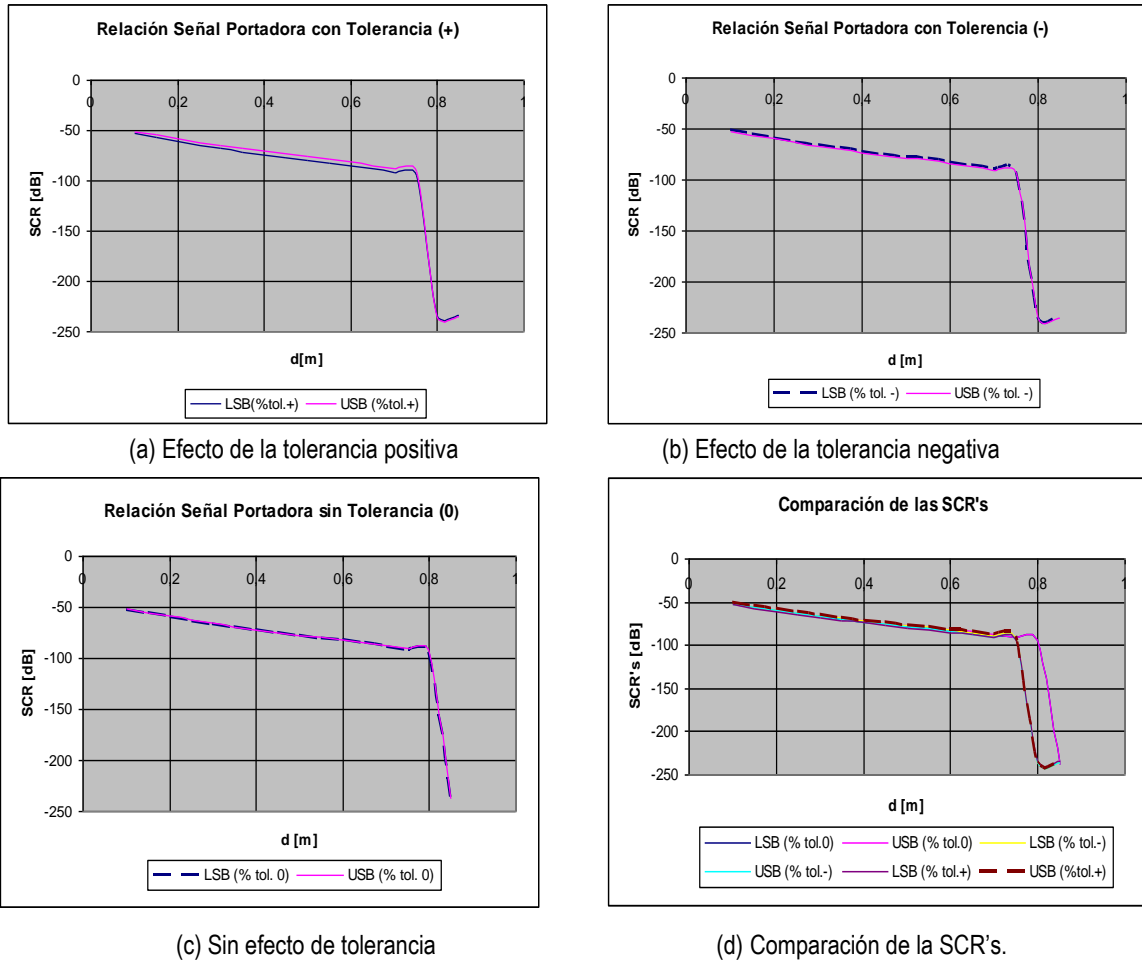


Figura 3.4. Relación señal portadora del transpondedor en las bandas laterales.

Sin considerar el efecto de la tolerancia (figura 3.6.c), el valor de la relación señal a interferencia a una distancia máxima de activación (80 cm) es de 41 dB en la banda superior; mientras que a la misma distancia pero considerando el efecto de la tolerancia, (figuras 3.6.a y 3.6.b), el transpondedor no será leído en la zona de campo o interrogación. El máximo rango de lectura y de activación en presencia de interferencias es obtenido sin el efecto del factor de tolerancia como se muestra en la figura 3.6.d.

3.3.1.6 Relación señal a ruido externa (SNR_{Ext})

La relación entre la señal de voltaje del transpondedor y de voltaje de ruido causado por fuentes de ruido externo se define como relación señal a ruido externa SNR_{Ext} . Dependiendo del nivel de ruido externo percibido por el lector de identificación, la comunicación entre el transpondedor y el interrogador puede interrumpirse. Las fuentes de ruido manejadas por el simulador son: ruido hecho por el hombre y señales de radio interferentes. La figura 3.7 ilustra las SNR_{Ext} para los tres casos de tolerancia: tolerancia positiva (3.7.a), tolerancia negativa (3.7.b), sin considerar efecto de tolerancia (3.7.c) y finalmente en la figura 3.7.d muestra la comparación entre las SNR_{Ext} .

Una vez más, el efecto de resonancia resulta justo en la distancia máxima de activación (figura 3.7.c), mientras que las curvas afectadas por el factor de tolerancia (figura 3.7.a y figura 3.7.b) reducen su rango de activación como se corrobora en la figura 3.7.d. A medida que el transpondedor se aleja de la fuente de emisión (lector), la magnitud de la SNR_{Ext} descende, en consecuencia, un incremento de la distancia afecta generalmente las relaciones señal a ruido SNR 's, particularmente la SNR_{Ext} . En la figura 3.7.d, se observa que el máximo rango de lectura y de activación en presencia de ruido externo se obtiene sin el efecto del factor de tolerancia.

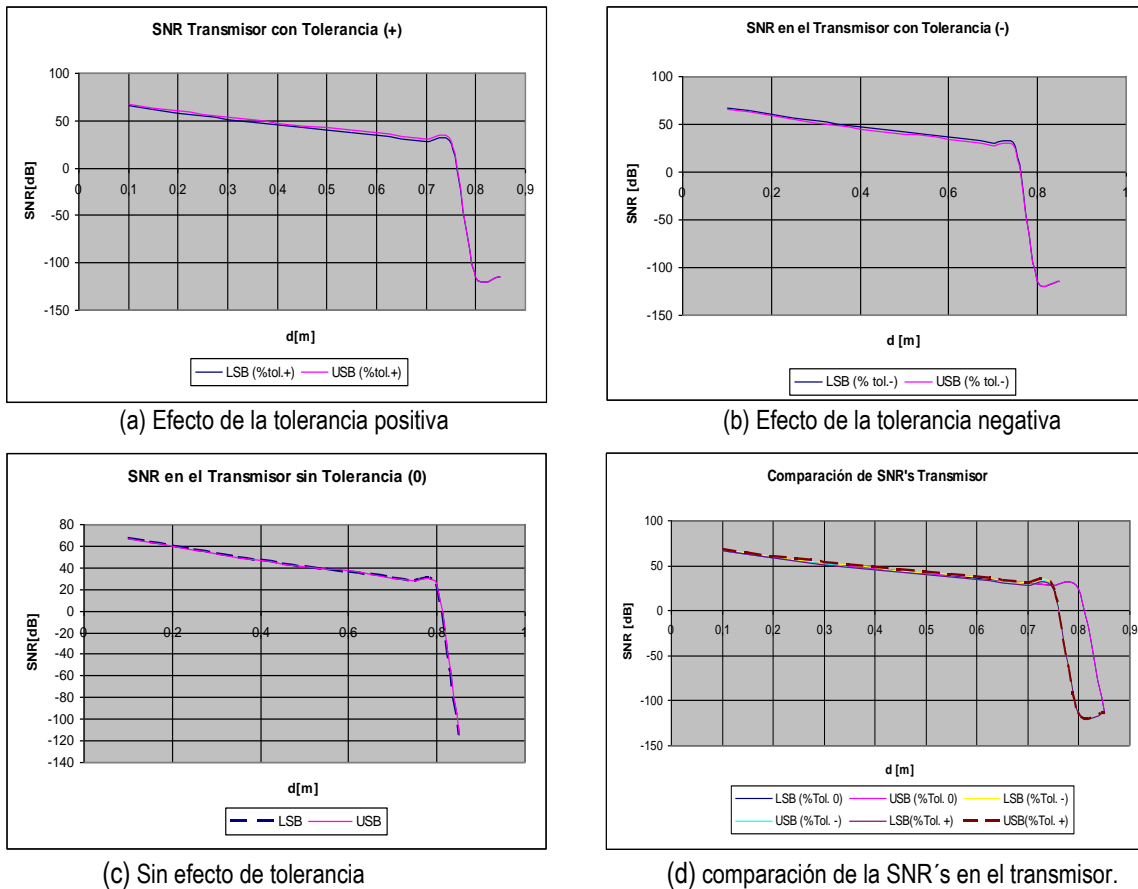


Figura 3.5. Relación señal a ruido en el transmisor.

3.3.1.7 Rango de lectura

El valor de SNR_{min} fija un punto de comparación con los resultados obtenidos de las tres relaciones señal a ruido SNR 's (SNR_{tx} , SNR_{Ext} , SNR_{Int}) con el fin de determinar el rango de lectura bajo la influencia de diversos tipos de ruido presentes en el canal. Si los resultados de las SNR 's son más altos que la SNR_{min} (10 dB) el transpondedor será leído, de lo contrario no será detectado; será necesario entonces reducir la distancia entre la antena del lector y la etiqueta de RF para incrementar el valor de la intensidad de campo equivalente homogéneo del transpondedor.

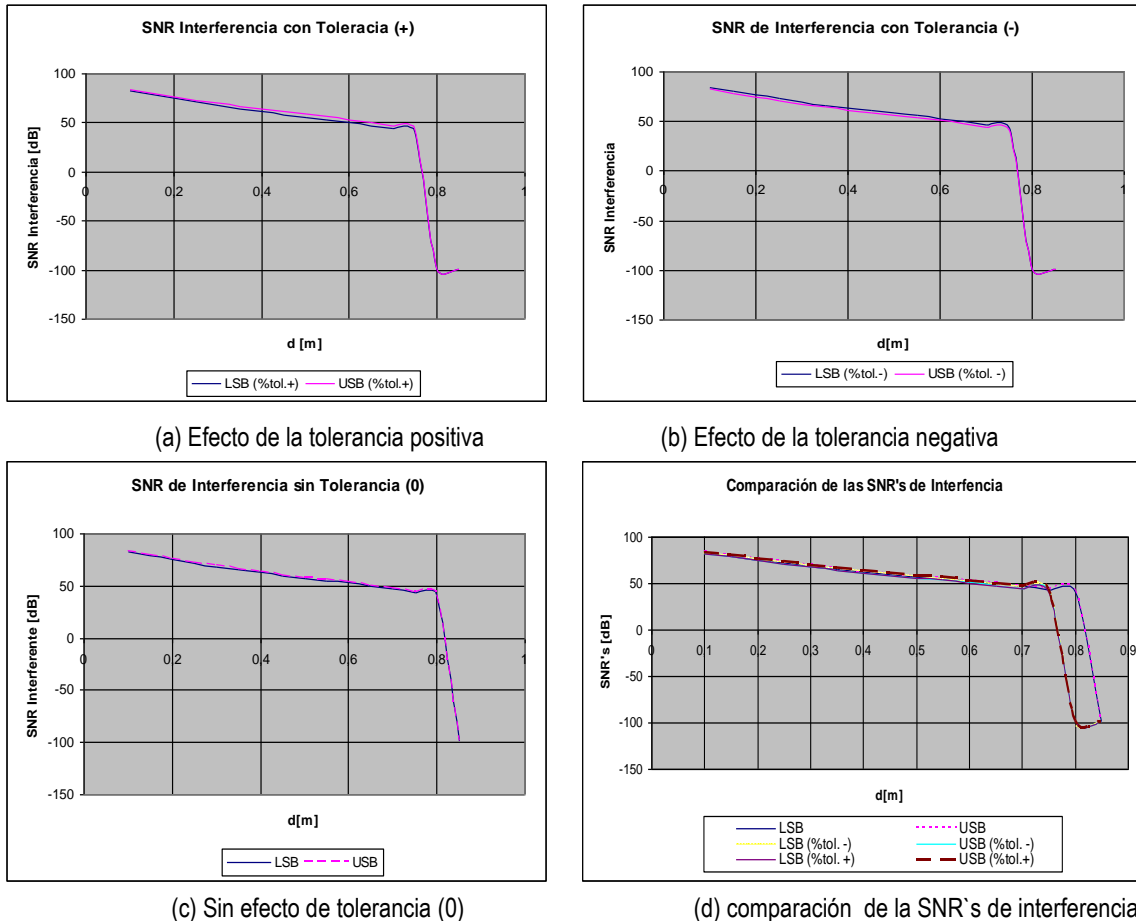


Figura 3.6. Relación señal a ruido causado por señales de interferencia externas.

Bajo este contexto, se debe satisfacer que la SNR_{tx} debe ser mayor que la SNR_{min} . Así, el valor de la SNR_{tx} debe ser aproximadamente de 24,8 dB (banda USB sin tolerancia) obtenido a una distancia de 80 cm, como se muestra en la figura 3.7.c. Si se considera la tolerancia y la interferencia en el canal, el transpondedor será leído cuando la magnitud es aproximadamente 11,3 dB, es decir, a una distancia de 65 cm. La tabla 3.4 presenta el rango de lectura máximo afectado por ruido e interferencia y bajo el factor de tolerancia.

3.3.2 Escenario 1. Variación de la Intensidad de Campo

En el modelo general de simulación se adoptó un valor de intensidad de campo de 42 db μ (A/m) normalizado por el ETSI en su estándar EN 300 330 para sistemas de radio inductivo en la banda de 9 KHz a 30 MHz. Para Norte América, la FCC regula el valor de intensidad de campo eléctrico a 10 m V/m a una distancia regulada de 30 m.

El escenario uno busca comparar los resultados del modelo de simulación general, modificando la magnitud de la intensidad de campo magnético de la señal de interrogación a 27 dB μ (A/m). Los demás parámetros de configuración del simulador son los mismos del modelo general de la tabla 3.1.

La tabla 3.8 y la figura 3.8 muestran los resultados cuantitativos y cualitativos para el escenario propuesto.

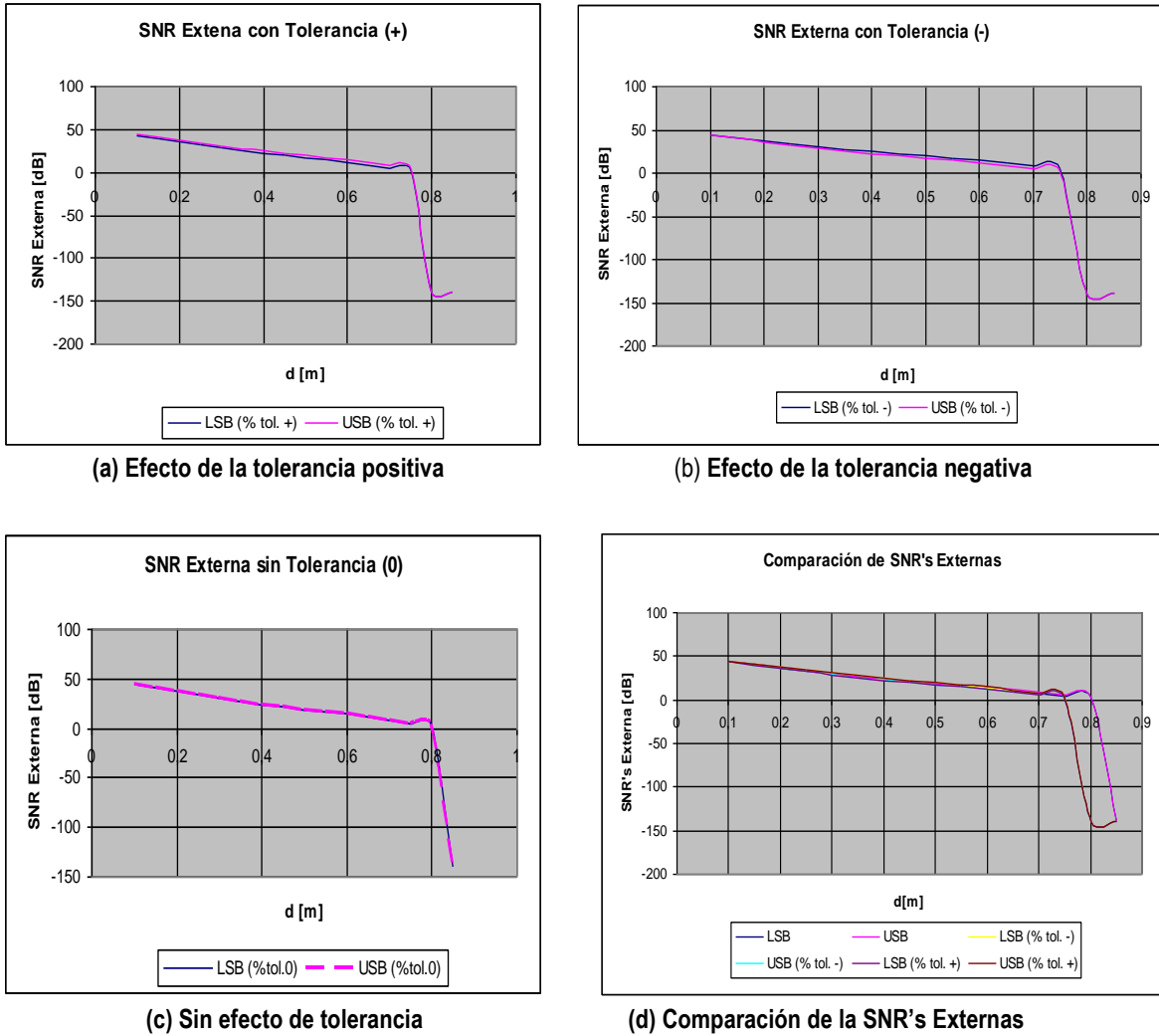


Figura 3.7. Relación señal a ruido causado por fuentes de ruido externo.

Parámetros	Unidades	Resultados		
Corriente Máxima de la Antena Tx	A	0.55		
H_noise Tx en 1Hz	$dBuA/m$	-55.99		
Potencia de Salida del Transmisor	W	0.57		
Tolerancia de la Frecuencia	%	-	0	+
Hmín	A/m	0.06	0.05	0.06
V_eff	m^3	5.81	7.03	5.82
m_sc LSB	μAm^2	35.11	41.36	30.34
m_sc USB	μAm^2	31.6	36	41.73
Distancia de Activación	m	0.58	0.62	0.58

Tabla 3. 5. Distancia máxima de activación.

3.3.2.1 Intensidad de Campo Magnético del Dispositivo Lector

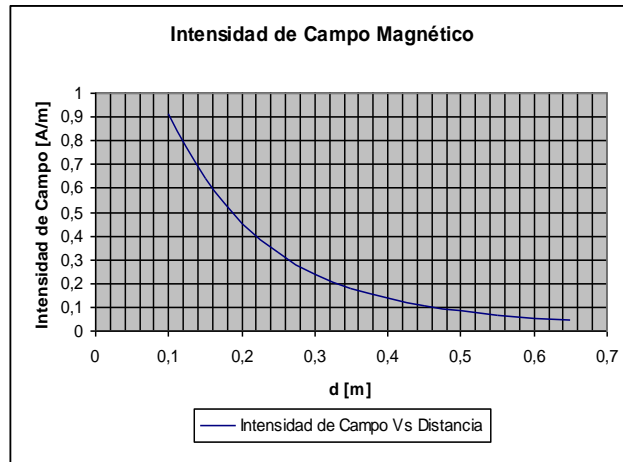


Figura 3.8. Intensidad de campo magnético del lector en función de la distancia de lectura.

La figura 3.8, representa la intensidad de campo del lector cuando el *tag* se coloca a lo largo del eje de la antena lectora. Cuando el lector se aparta del transpondedor la intensidad de campo disminuye en proporción cúbica inversa $1/d^3$. La tabla 3.4 muestra la disminución de la corriente de la antena lectora y de la potencia de salida del transmisor cuando se reduce el valor del campo magnético regulado.

A una distancia de 10 cm se observa un nivel máximo de campo de $0,9 A/m$ a 27 dBu (A/m), mientras que el modelo de simulación general presenta un valor de $1,7 A/m$ a 42 dBu (A/m), aproximadamente el doble. Alrededor de 60 cm la intensidad de campo alcanza el valor mínimo, aproximadamente $0,055 A/m$, lo que revela una reducción indudable de la distancia máxima de activación del transpondedor comparado con el modelo general de simulación (Figura 3.2). Posterior a los 60 cm la etiqueta no será leída por el lector, la energía recibida no es suficiente para la activación y funcionamiento del chip.

3.3.2.2 Intensidad de campo magnético de la señal del transpondedor.

El comportamiento de la intensidad de campo del transpondedor bajo la influencia de la tolerancia se observa en la figura 3.9. Las curvas de la figura muestran un comportamiento similar comparado con el modelo de simulación, sin embargo, la distancia de activación disminuye por la variación de la intensidad de campo regulado. Sin considerar el factor de tolerancia, el rango máximo de activación se consigue a los 62 cm de distancia, posteriormente para la figura 3.9.c la curva desciende hasta alcanzar valores negativos, esto sugiere, que la etiqueta no recibirá la suficiente energía para ser leída y realizar el proceso de modulación describe la relación directa entre el campo magnético (**B**) y la intensidad de campo magnético (**H**).

Entre tanto, la distancia de activación de las curvas de las figuras 3.9.a y 3.9.b es limitada comparada con la curva de la figura 3.9.c, esto se debe a la desviación de la frecuencia de la resonancia del transpondedor (la desviación de la frecuencia de resonancia es de 69156 Hz. Se observa que a 35 cm de distancia y sin efecto de tolerancia la magnitud de la intensidad de campo equivalente de la señal del transpondedor es alrededor de $42,7 dBuA/m$ en la banda lateral superior (USB), mientras que para el

modelo de simulación es de $44,2 \text{ dBuA/m}$ (Figura 3.3). Las figuras 3.9.a, 3.9.b, 3.9.c muestran el efecto de la tolerancia sobre el rango de activación.

3.3.2.3 Relación señal portadora

La figura 3.10 muestra la relación señal portadora *SCR* en función de la distancia para los tres casos de tolerancia. La figura de la parte inferior señala que un incremento de la distancia conlleva a la disminución de la relación *SCR*; el valor de la *SCR* límite es de -81 dB obtenida a la distancia máxima de activación, es decir, a 60 cm aproximadamente, sin efecto de tolerancia. La *SCR* es un parámetro de calidad que mide el desempeño de la señal transmitida por el transpondedor respecto a la señal portadora del interrogador, en la antena del lector y es función de la distancia

La figura 3.10, muestra un comportamiento similar al modelo general de simulación (figura 3.4), excepto por la distancia máxima de activación alcanzada por la etiqueta. En cualquier caso, el rango de activación máximo ocurre sin la influencia del factor de tolerancia; posteriormente las curvas caen ligeramente lo que indica que el transpondedor está fuera del rango de interrogación del lector y no llevará a cabo el proceso de modulación.

3.3.2.4 Relación señal a ruido externa

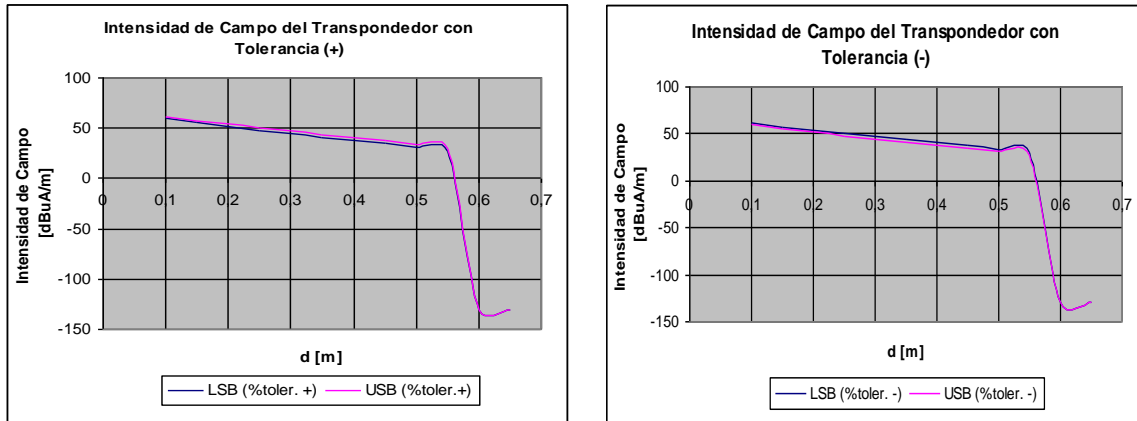
Cuando el canal de transmisión de un sistema RFID es afectado por ruido externo, el rango de lectura entre el transpondedor y el lector es vulnerado, en consecuencia, se refleja en una reducción de la distancia de lectura, sumado a la disminución de la intensidad de campo regulado (27 dBu). La *SNR_{ext}* proporciona una medida de la calidad de la señal de información del *tag* cuando es afectada por componentes de ruido externo como el ruido hecho por el hombre. Esta situación se ilustra en la figura 3.11.

Una comparación, sin efecto de la tolerancia entre el modelo de simulación (figura 3.7) y la figura 3.11.c, confirman que a una distancia de 50 cm el valor de la relación *SNR_{ext}* es ligeramente mayor para el modelo que para el escenario; esto se debe a la reducción de la intensidad de campo magnético regulado; por consiguiente, un aumento del campo magnético incrementará la distancia de activación y la relación señal a ruido externa *SNR_{ext}*. Sin embargo, el nivel de campo es siempre regulado por las normas y administraciones de cada país. En la figura 3.11.a, después de 55 cm de distancia y bajo el efecto de la tolerancia positiva el transpondedor no será activado ni leído; el valor de la relación *SNR_{ext}* en la *USB* es de $12,37 \text{ dB}$, mientras en la figura 3.11.c a 55 cm e tiene un valor de $15,46 \text{ dB}$.

3.3.2.5 Relación señal a ruido en el transmisor

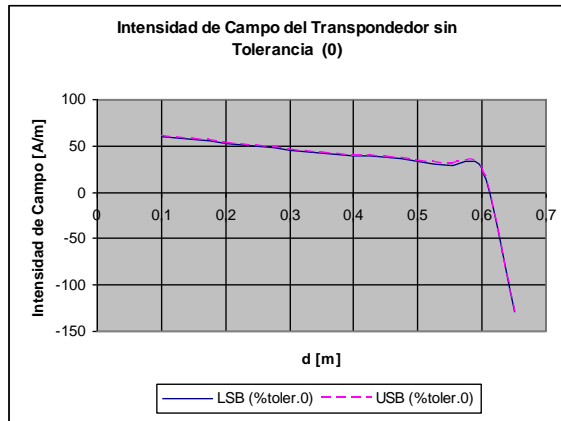
La *SNR* en el transmisor se define como el cociente entre la señal de voltaje de la etiqueta y la señal de ruido provocada por los circuitos internos del transmisor, tales como: la etapa de modulación y de amplificación del lector. El aumento de la relación *SNR_{tx}* reduce el efecto de la potencia de ruido sobre el canal lo que implica que la señal de información es recibida en el lector con mayor exactitud, además, la transmisión de información se logra a mayor distancia. La figura 3.12 muestra la relación señal a ruido en el transmisor para cada banda lateral considerando el efecto de la tolerancia.

El nivel de ruido expresado en unidades de campo se conoce como intensidad de campo equivalente homogéneo de ruido en el transmisor ($H_{noise\ tx}$). Según la ecuación 3.1, la $H_{noise\ tx}$ es directamente proporcional a la corriente de la antena. Por otra parte, la ecuación 3.2 relaciona la intensidad de campo equivalente homogéneo de la señal del transpondedor H_{eh} y la intensidad de campo equivalente de ruido $H_{noise\ tx}$. Cuando disminuye la $H_{noise\ tx}$ manteniendo fijo el valor de H_{eh} la relación $SNR\ tx$ aumenta, por lo tanto, la señal transmitida por el *tag* será recibida en el receptor con un nivel alto de potencia.



(a) Efecto de la tolerancia positiva

(b) Efecto de la tolerancia negativa



(c) Sin efecto de tolerancia

Figura 3.9. Intensidad de campo magnético de la señal del transpondedor.

De acuerdo a la figura 3.12, los resultados de la relación señal a ruido en el transmisor $SNR\ tx$ demuestran un mejor desempeño comparado con los resultados obtenidos en el modelo de simulación (figura 3.4), esto se explica debido a la disminución de la intensidad de campo, de la corriente I_{tx} y de la $H_{noise\ tx}$.

²³² La ecuación que relaciona la $SNR\ tx$ con la intensidad de campo de la señal del transpondedor y la intensidad de ruido se obtuvo del modelo matemático del simulador IISIM.

$$H_{noise} = \frac{2(a+b).L_{mtx}}{ab\mu_0 Q_{Lx}} \left(\frac{I_{tx}}{cnr} \right) \quad (3.1)$$

$$SNR_{tx} = 20 \text{Log} \left(\frac{H_{eh}}{H_{noisetx}} \right), \quad (3.2)$$

donde, H_{noise} es la intensidad de campo magnético homogéneo de ruido, a y b son las dimensiones de la antena rectangular del lector, L_{mtx} es la inductancia de la bobina del lector, Q_{Lx} corresponde al factor de calidad del lector, I_{tx} es la corriente máxima a través de la antena del transmisor, cnr es la relación portadora a ruido y H_{eh} es la intensidad de campo equivalente homogéneo del tag.

3.3.2.6 Rango de Lectura

En el escenario 1 se estableció en el transmisor un valor umbral de relación señal a ruido mínima (SNR_{min}) de 10 dB que implica que cada una de las SNR 's (SNR_{tx} , SNR_{Ext} , SNR_{Int}) debe asumir un valor mayor a los 10 dB para llevar a cabo la activación y lectura del transpondedor, de lo contrario no se establecerá una comunicación con el circuito lector; de este modo es indispensable reducir la distancia entre el lector y la etiqueta. La tabla 3.5 se especifica el valor del rango de lectura máximo cuando el canal de transmisión es afectado por ruido e interferencias; asimismo, por el efecto del factor de tolerancia.

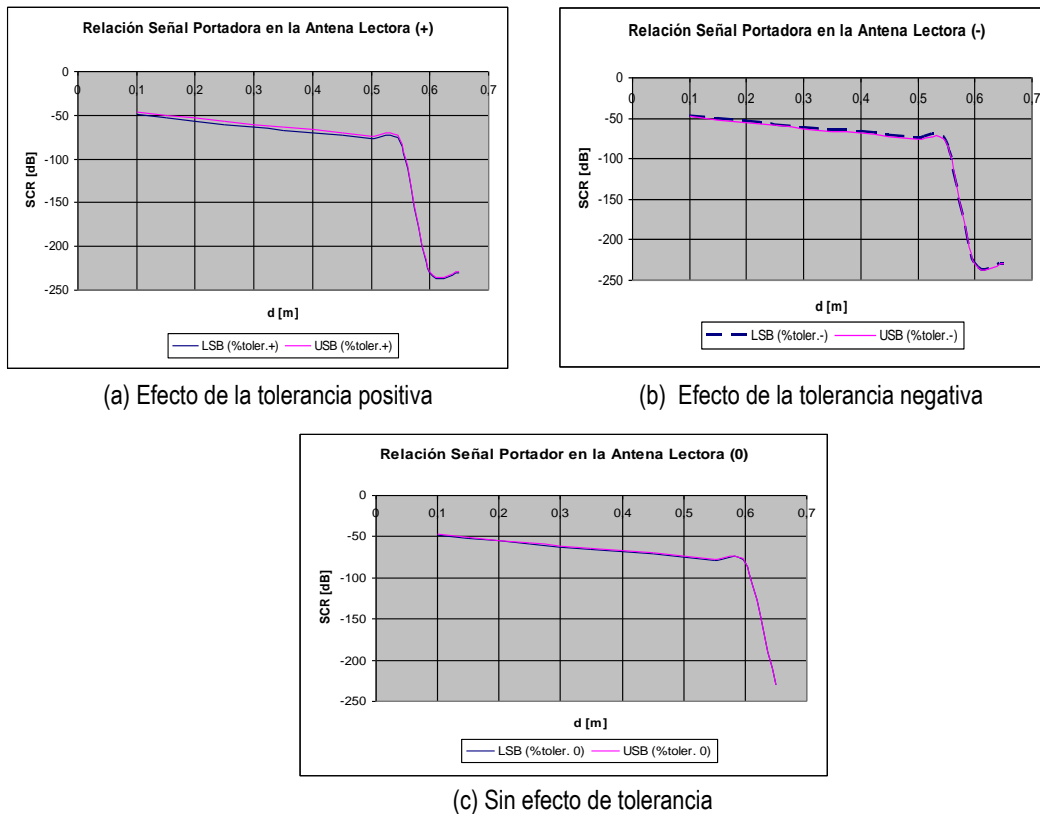
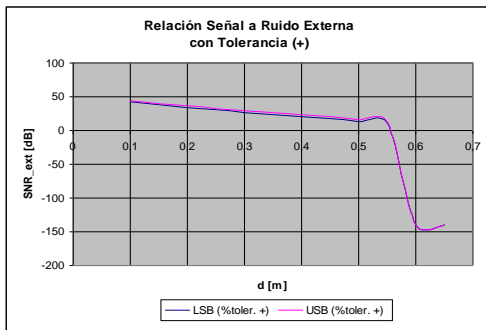


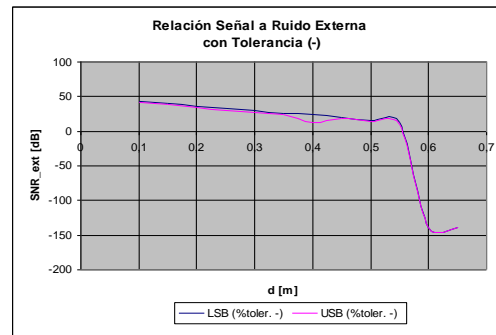
Figura 3.10. Relación señal portadora del transpondedor

Parámetro	Distancia de Lectura para diversos Casos de Tolerancias [m]		
	Tol. (-)	Tol. (0)	Tol. (+)
Tolerancia en la frecuencia de resonancia			
Relación señal a ruido en el transmisor en LSB	0.55	0.6	0.55
Relación señal a ruido en el transmisor en USB	0.55	0.6	0.55
Relación señal a ruido Externa en LSB	0.55	0.55	0.50
Relación señal a ruido Externa en USB	0.50	0.555	0.55
Relación señal a Interferencia en LSB	0.55	0.60	0.55
Relación señal a Interferencia en USB	0.55	0.60	0.55

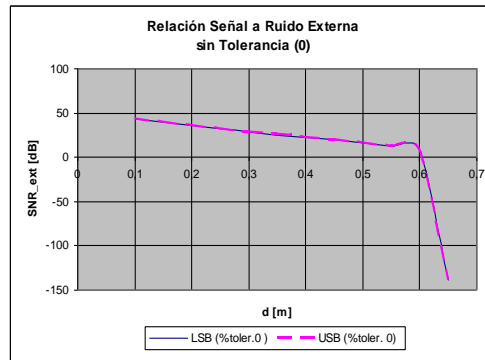
Tabla 3.6. Máximo rango de lectura determinado por las relaciones señal a ruido.



(a) Efecto de la tolerancia positiva.



(b) Efecto de la tolerancia negativa.



(c) Sin efecto de la tolerancia.

Figura 3. 11. Relación señal a ruido con intensidad de 27 dBu.

3.3.3 Escenario 2. Dimensiones de la Antena del Transpondedor

Dada la importancia de la elección de las dimensiones de la antena del transpondedor, el escenario 2 plantea un análisis de los resultados obtenidos al modificar las dimensiones de la etiqueta utilizado en el modelo general (estándar ISO 7810, ver sección 2.6.1.1.1), por el formato de la etiqueta *IN 590* de HF de la compañía *Lab ID*, cuyas dimensiones de antena son 0,038 m. x 0,022 m. Esta variación permitirá determinar cómo dicho cambio afecta el comportamiento del rango de activación y de lectura bajo la influencia de ruido. Los demás parámetros de la simulación conservan la misma configuración de la tabla 3.1. Los resultados de la tabla 3.6, demuestran que los niveles de corriente máxima de la antena y la potencia de salida del transmisor son constantes, independientemente del valor asumido por las

dimensiones de la antena; esto se debe a que la intensidad de campo finalmente es quien controla los niveles de corriente y potencia.

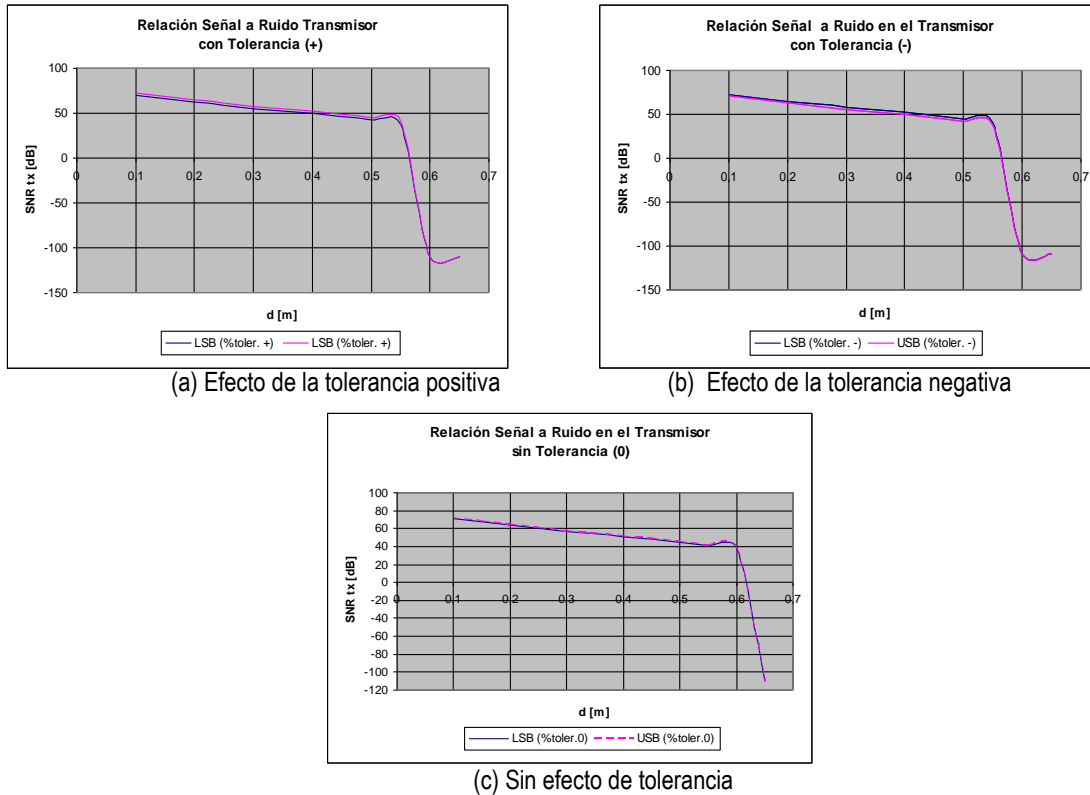


Figura 3.12. Relación señal a ruido transmisor con intensidad de campo de 27 dBu.

Por otra parte, la intensidad de campo magnético mínimo (H_{min}) debe ser lo suficiente para la activación del chip, esto significa, que las líneas de campo deben penetren efectivamente las espiras de la bobina (en este escenario con menor longitud) que constituyen finalmente la antena de la etiqueta. Si se reducen las dimensiones de la antena es necesario incrementar la H_{min} para que la energía sea recibida eficazmente en la bobina y se establezca la comunicación bidireccional entre el transpondedor y el lector de RF. Esto justifica el porqué H_{min} (tabla 3.6) es mayor comparado con el modelo general de simulación.

Parámetros	Unidades	Resultados		
Corriente Máxima de la Antena Tx	A	1.08		
H_noise Tx en 1Hz	$dBuA/m$	-50.08		
Potencia de Salida del Transmisor	W	2.2		
Tolerancia de la Frecuencia	%	-	0	+
H_{min}	A/m	0.22	0.18	0.22
V_{eff}	m^3	0.45	0.54	0.45
m_{sc} LSB	μAm^2	11.46	9.73	8.41
m_{sc} USB	μAm^2	8.76	9.98	11.57
Distancia de Activación	m	0.44	0.48	0.45

Tabla 3.7. Rango de activación con dimensiones de antena 0.038 X 0.022.

3.3.3.1 Distancia de lectura modificando las dimensiones del transpondedor

Debido a la reducción de la superficie de la antena, la magnitud del voltaje inducido en resonancia tiende a descender, por lo tanto, el rango de lectura y de activación del *tag* disminuyen acorde a la tabla 3.7. En general, la intensidad de campo de la señal de interrogación es proporcional al voltaje inducido en la antena del transpondedor y a la corriente que circula por la antena de la etiqueta. La tabla 3.7 se determina el rango de lectura máximo perturbado por ruido y dimensiones de antena de 0,038 X 0,022 m.

Parámetro	Distancia de Lectura para diversos Casos de Tolerancia [m]		
	Tol. (-)	Tol. (0)	Tol. (+)
Tolerancia en la frecuencia de resonancia			
Relación señal a ruido en el transmisor en LSB	0.40	0.45	0.40
Relación señal a ruido en el transmisor en USB	0.40	0.45	0.40
Relación señal a ruido Externa en LSB	0.35	0.35	0.35
Relación señal a ruido Externa en USB	0.35	0.35	0.35
Relación señal Interferencia en LSB	0.40	0.45	0.40
Relación señal a Interferencia en USB	0.40	0.45	0.40
Distancia de activación [m]	0.44	0.48	0.45

Tabla 3.8. Rango de lectura máximo en presencia de ruido con dimensiones 0.038 X 0.022

3.3.3.2 Intensidad de campo del lector

La figura 3.13.a, muestra la relación entre la intensidad de campo del lector y la distancia. En este contexto, se observa la reducción de la distancia de activación; el comportamiento se debe básicamente a la reducción del flujo magnético que atraviesa la superficie de la antena asociado con la disminución de las dimensiones de la antena del transpondedor.

En la figura 3.13.a, el valor de la intensidad de campo a una distancia inicial de 10 cm corresponde a 2 A/m, hasta alcanzar el máximo valor de activación a 48 cm sin tolerancia con base en las dimensiones asumidas. El modelo de simulación presenta una distancia máxima de 85 cm (figura 3.2) bajo el estándar ISO 7810, esto significa, que ignorando el efecto de la tolerancia a dicha distancia el campo es capaz de ser emitido y recibido por la etiqueta.

La figura 3.13.b muestra la intensidad de campo equivalente homogéneo de la señal del *tag*. La disminución del largo y ancho de la bobina rectangular muestra que la intensidad de campo magnético disminuye y en consecuencia se reduce la distancia máxima de lectura.

3.3.4 Escenario 3. Variación del Factor de Calidad

En el modelo general de simulación el factor de calidad (*Q*) se fijó en 70; el siguiente escenario presenta los resultados incrementando el *Q* a un valor de 100, conservando fijos los otros parámetros de configuración (tabla 3.1), con el fin de determinar como interviene el *Q* en el rango de activación y de lectura. Asimismo, considerar como afectan los resultados inherentes al transpondedor y al lector suministrado por la herramienta de simulación. Finalmente, se establece una comparación entre los resultados obtenidos del modelo de simulación y los presentados en este escenario. La tabla 3.8, muestra los resultados del simulador para el escenario 3.

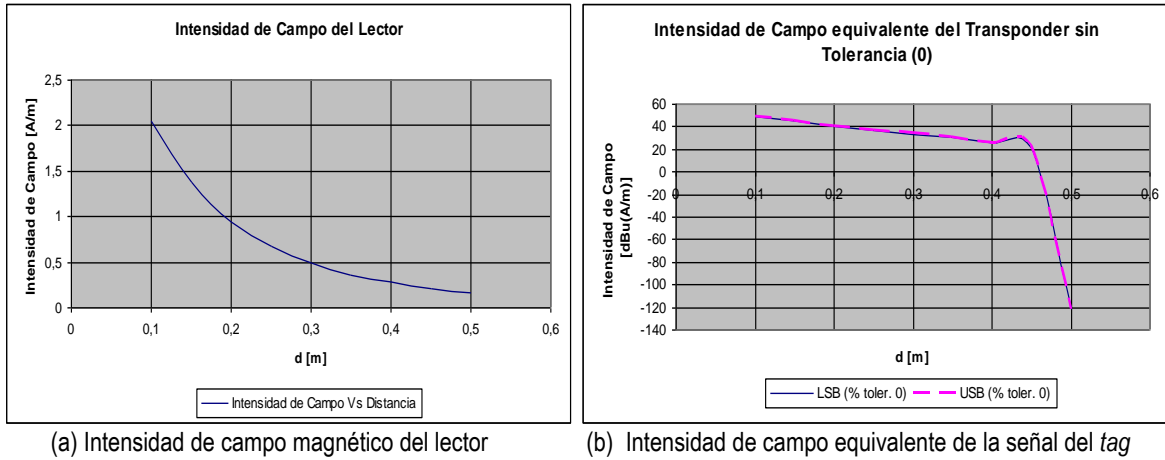


Figura 3.13 Intensidades de campo modificando las dimensiones de la antena de tag

Parámetros	Unidades	Resultados		
Corriente Máxima de la Antena Tx	<i>A</i>	1.08		
H_noise Tx en 1Hz	<i>dBuA / m</i>	-50.08		
Potencia de Salida del Transmisor	<i>W</i>	2.2		
Tolerancia de la Frecuencia	%	-	0	+
Hmín	<i>A / m</i>	0.05	0.04	0.05
V_eff	<i>m³</i>	7.12	9.82	7.14
Distancia de Activación	<i>m</i>	0.81	0.92	0.82

Tabla 3.9. Rango de activación con factor de calidad de 100.

En efecto, elevar el factor de calidad de la bobina contribuye a extender el rango de lectura y de activación del transpondedor según lo indicado en las tablas 3.8 y 3.9. Los resultados de la tabla 3.8 confirman que la distancia de activación aumentó a 92 cm en comparación con la distancia de activación 75 cm del modelo general, este resultado ignorando la tolerancia sobre la frecuencia. Sin embargo, la misma situación, se presenta bajo el efecto del factor de tolerancia, independiente de si es positiva o negativa.

El voltaje inducido sobre la antena del transpondedor está relacionado con el factor de calidad Q, que expresa la selectividad del circuito; de este modo, un aumento del Q implica un incremento del voltaje inducido (V_o) y por lo tanto del campo de interrogación. Cuando la bobina y el capacitor están sintonizados a la frecuencia de la portadora (13,56 MHz), es decir, en resonancia, el voltaje inducido se incrementa substancialmente.

Si bien, lo ideal sería diseñar una antena bobina con un alto valor de Q para la bobina del transpondedor, existen limitaciones físicas fundamentales que evitan que esto suceda, sin embargo, siempre debe existir un compromiso durante la elección de esta variable.

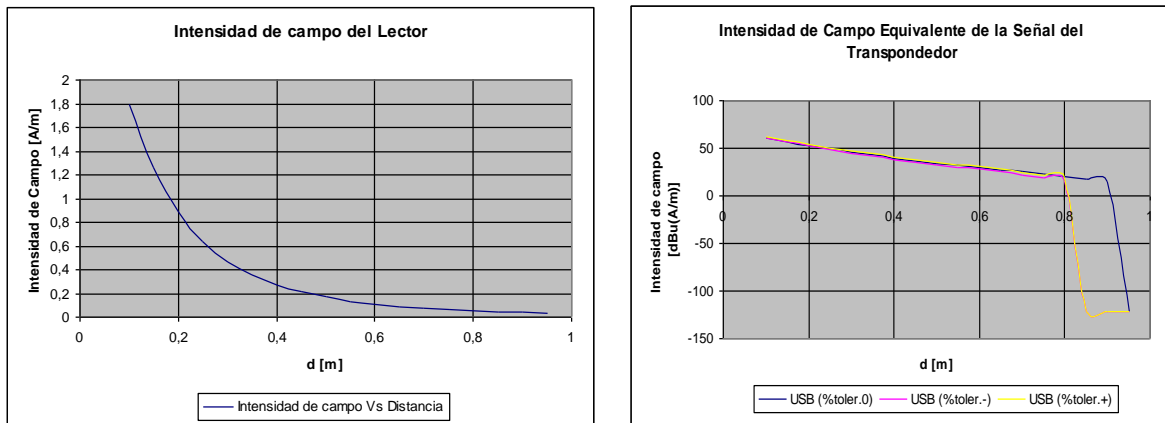
- ❖ La sintonización entre la frecuencia portadora y la frecuencia del transpondedor se torna crítica, debido al alta selectividad presente en cada circuito y por el reducido ancho de banda. Para

este fin, se requieran elementos como bobinas y capacitores muy costosos y difíciles de obtener por su estrecho margen de tolerancia.

- ❖ Altos voltajes generan un mal aislamiento en la bobina o en el capacitor resonante. Así, un amperio de corriente que circula por una bobina de 2 mH generará aproximadamente 1500 voltios pico a pico en resonancia. Estos voltajes son fácilmente obtenidos, sin embargo, resulta complejo aislarlos. Además, la recuperación de la señal de retorno en el enlace de bajada es llevado a cabo en presencia de voltajes elevados.
- ❖ La característica pasa banda del lector se afecta cuando se tienen valores muy altos de Q, convirtiéndose en un conflicto para que los dispositivos de un sistema RFID alcancen la condición de resonancia debido a que se presenta una alta selectividad de los circuitos de RF.

3.3.4.1 Intensidad de campo del lector y del transpondedor

La figura 3.14.a, muestra la intensidad de campo del lector cuando la etiqueta es colocado a través de su eje. La etiqueta recibe la mínima energía hasta alcanzar aproximadamente una distancia máxima de activación de 95 cm. La figura 3.14.b muestra la intensidad de campo equivalente homogéneo de la señal del transpondedor solo para la banda lateral superior y bajo el efecto de tolerancia. Las curvas de las figuras presentan el mismo comportamiento de los escenarios previos, la diferencia se establece en la distancia de activación.



(a) Intensidad de campo magnético del lector

(b) Intensidad de campo equivalente del tag.

Figura 3.14. Intensidades de campo modificando el factor de calidad

3.3.4.2 Rango de lectura modificando el factor de calidad

La tabla 3.9 representa la distancia máxima de lectura cuando el canal es afectado por ruidos e interferencias. Se definió en los parámetros de configuración del simulador una relación señal a ruido mínima (SNR_{min}) de 10 dB, por lo tanto, es necesario que cada relación señal a ruido (SNR_{tx} , SNR_{Ext} , SNR_{Int}) sea superior que la SNR_{min} para la lectura y funcionamiento correcto del tag. Cada valor de distancia en la tabla cumple con dicha condición, de lo contrario el transpondedor no será

leído ni identificado. Una vez más, la distancia de lectura máxima se determina cuando el *tag* está sintonizado a la frecuencia de resonancia, esto es, sin efecto de tolerancia.

Parámetro	Distancia de Lectura para diversos Casos de Tolerancia [m]		
	Tol. (-)	Tol. (0)	Tol. (+)
Tolerancia en la frecuencia de resonancia			
Relación señal a ruido en el transmisor en LSB	0.8	0.9	0.8
Relación señal a ruido en el transmisor en USB	0.8	0.9	0.8
Relación señal a ruido Externa en LSB	0.65	0.65	0.60
Relación señal a ruido Externa en USB	0.60	0.65	0.65
Relación señal a Interferencia en LSB	0.80	0.90	0.80
Relación señal de Interferencia en USB	0.80	0.90	0.80
Distancia de activación [<i>m</i>]	0.81	0.92	0.82

Tabla 3.10. Rango de lectura máximo en presencia de ruido con factor de calidad de 100.

3.4 SIMULACIÓN CON LA HERRAMIENTA WinIQSIM

Esta sección evalúa la comunicación entre el transpondedor y el lector de un sistema RFID bajo la herramienta de simulación WinIQSIM. La señal de información se analiza cuando transita por el medio inalámbrico de transmisión afectado por ruido AWGN. El transmisor envía un patrón de información binario que corresponde a un comando de información. Los patrones de información se extrajeron del estándar ISO 15693 (tarjetas de vecindad) y del estándar de la EPC global. La simulación con el programa WinIQSIM busca la apropiación tecnología para conocer el funcionamiento de los sistemas RFID desde las comunicaciones digitales.

3.4.1 Visión General de la Interfaz de Aire

En un sistema RFID, la interfaz de comunicaciones define el procedimiento de comunicación empleado por una etiqueta y un lector durante la transmisión de información. El estándar de la EPC y el ISO 15693 dispone de una gama de recomendaciones donde se especifica el funcionamiento entre el lector-transpondedor. El establecimiento de la comunicación solo será posible cuando la fuente o lector le envíe un comando apropiado capaz de ser interpretado por la etiqueta.

Durante la transmisión lector-etiqueta, los símbolos que contienen los datos están codificados en dígitos binarios, esto implica el uso de técnicas de modulación para garantizar la transmisión de la información en el medio inalámbrico. La comunicación lector-*tag* ocurre de manera *half dúplex*, es decir, la etiqueta no responde a la comunicación mientras espera el comando adecuado por parte del lector para establecer la comunicación²⁴.

3.5 RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN

Se plantean diversos escenarios de prueba para analizar la señal por el medio y observar el comportamiento en lo que se concierne a la comunicación a nivel físico de los dispositivos (lector y

²⁴ En el Anexo C, se describen algunos aspectos técnicos de los estándares ISO 15693 y de la EPC. Una descripción más detallada recurrir a la página web <http://www.epcglobalinc.org/standards/specs/>

etiqueta) que intervienen en la comunicación. Son ellos los que establecen los fundamentos para obtener las recomendaciones para el diseño del sistema.

3.5.1 Escenario1. Estándar EPC

Con base en el formato definido, la secuencia de información digital introducida en el editor de información del simulador (ver figura B.3 y B.4, Anexo B) bajo la especificación de la EPC se muestra a continuación:

00000000000000000000-1- 0000010-0-0000000-1-00001000-0-0000000-1-1-1

El paquete de información está conformado por 57 bits, donde cada campo de la estructura de la trama tiene una representación particular. En el campo **CMD** se fija el código de comando **Quiet**; si el transpondedor recibe este comando del lector y *host* modifica su estado inicial y entrará en un estado de silencio, por lo tanto, no responderá ante una nueva instrucción transmitida por el lector. A continuación se muestran los campos de bits de la trama. En el anexo C se expone cada uno de los campos.

[PREAMBL][CLKSYNC][SOF][CMD][P1][PTR][P2][LEN][P3][VALUE][P4][P5][EOF]²⁵

Según las especificaciones desarrolladas por la compañía EPC, el panel de modulación es configurado bajo algunas propiedades que caracterizan la interfaz de aire de un sistema RFID. Así, el tipo de modulación utilizado es una ASK binaria definido en el campo **Type Modulation**. El software de simulación no soporta el esquema ASK, sin embargo, es posible definir nuevos tipos de modulaciones basados en los existentes PSK, FSK, y QAM desarrollando unas pocas líneas de código. Un valor de 0 dB es asignado al nivel de referencia o ganancia (**Reference Level**). En general, no se utiliza ningún esquema de codificación de constelación. La tasa de símbolos elegida es de 15 KHz obtenida del estándar, además, la comunicación entre el lector y el transpondedor corresponde a una modulación de amplitud binaria (ASK). La longitud de secuencia (**Sequence Length**) se fija en 60, un valor cercano al número de bits. Se utiliza una ventana rectangular por defecto, el estándar no especifica nada al respecto sobre la función filtro, sin embargo, en los escenarios se varían utilizando pulsos diferentes para observar su comportamiento. Los demás parámetros se fijan en el modo **Auto** para que el simulador elija los valores más apropiados para cada gráfico.

3.5.2 Componente en Fase y en Cuadratura para un Canal Ideal

La figura 3.15, muestra las componentes en fase I y en cuadratura Q en el dominio del tiempo (normalizado a T_{sym}) bajo un esquema de modulación ASK, por lo tanto, resulta natural que la representación gráfica de la componente en cuadratura sea una línea recta horizontal (color gris claro en $q(t)$). Entre tanto, la amplitud de la señal portadora varía entre dos estados posibles, es decir, en ausencia de portadora y en presencia de ella; la fase y la frecuencia en ASK son constantes bajo un canal sin ruidos ni interferencias.

²⁵ Este formato es definido para la transmisión de información del lector al transpondedor; una mejor descripción y conceptualización de cada campo que del formato acudir al Anexo C.

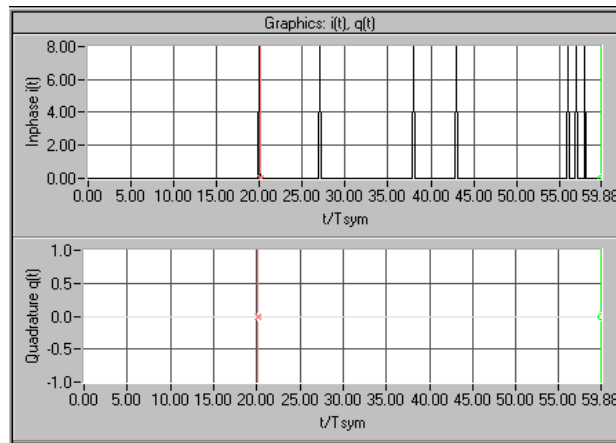


Figura 3.15 Componente en fase y en cuadratura en un canal ideal.

La gráfica 3.15, (*Inphase*) $i(t)$ coincide con la secuencia binaria transmitida; así, en 20 veces el periodo de símbolo (eje t/T_{sym}) ocurre el primer uno binario, en $28T_{sym}$ el segundo y en $39T_{sym}$ el tercer uno sin que ocurra alteración de alguno de los bits, ya que se asume un canal ideal.

3.5.3 Diagrama de Ojo en I y Constelación para un Canal de Transmisión Ideal

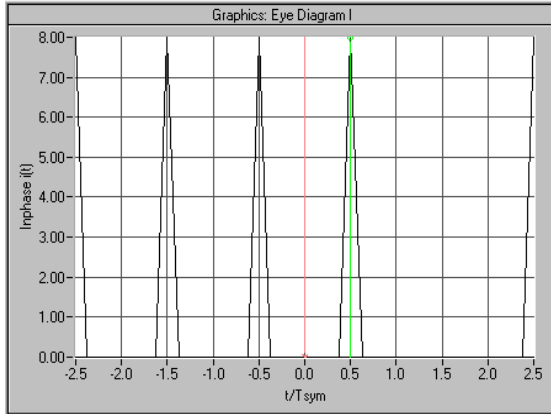
La figura 3.16, muestra el diagrama de ojo en I y de constelación para un medio de transmisión ideal sin ruido AWGN y sin interferencias. En los instantes óptimos de muestreo que corresponden a los múltiplos enteros del periodo de símbolo, (T_{sym}) los puntos confluyen a los dos símbolos que constituyen la modulación binaria ASK, así, en los múltiplos $1T_{sym}$, $2T_{sym}$; $-1T_{sym}$ de la figura 3.16.b los puntos convergen hacia sus dos símbolos. Este patrón de ojo finalmente no proporciona gran información por tratarse de un esquema ideal.

El diagrama de constelación de la misma figura, muestra los posibles símbolos conforme al esquema de modulación utilizado; los dos símbolos no presentan desviaciones, por lo tanto esta representación es fiel a un patrón de constelación ASK.

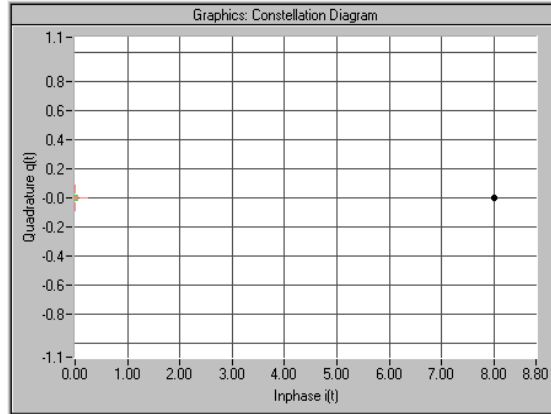
3.5.4 Diagrama en Fase, de Ojo en I y de Constelación con Filtro

La figura 3.17, muestra la componente en fase $i(t)$ utilizando una función filtro de raíz cuadrada en el transmisor y receptor con un factor de *roll off* de 0,6; naturalmente la secuencia binaria toma la forma aproximada de un pulso o de una función sinc. Así, en 20 o 40 veces el periodo de símbolo (T_{sym}) se muestran los dos unos de la secuencia original, representados como pulsos sinc debido al filtro conformador.

La figura 3.18 muestra el diagrama de ojo y constelación utilizando en el transmisor un filtro de coseno alzado. El patrón de ojo en los instantes óptimos de muestreo indica un diagrama libre de ISI natural por imperfecciones del sistema o por consecuencia del canal de transmisión. En la figura 3.18.a en el punto $2T_{sym}$ se observa que todos los puntos confluyen perfectamente hacia los dos símbolos presentes sin que ocurran desviaciones o contribuciones de los otros pulsos. El diagrama de constelación figura 3.18.b muestra los dos símbolos característicos del esquema de modulación ASK. Estos casos corresponden a un sistema de transmisión sin perturbaciones.



(a) Diagrama de ojo en I.



(b) Diagrama de Constelación.

Figura 3.16. Aspecto de una señal ASK sin filtro en un canal ideal

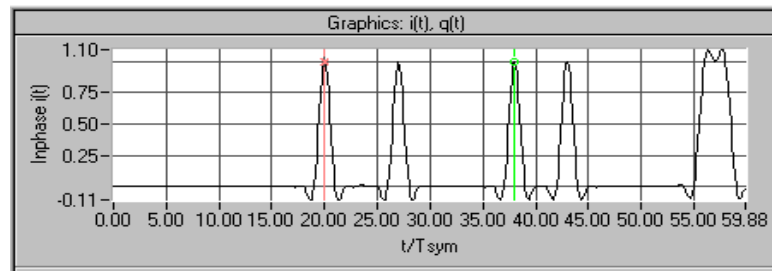


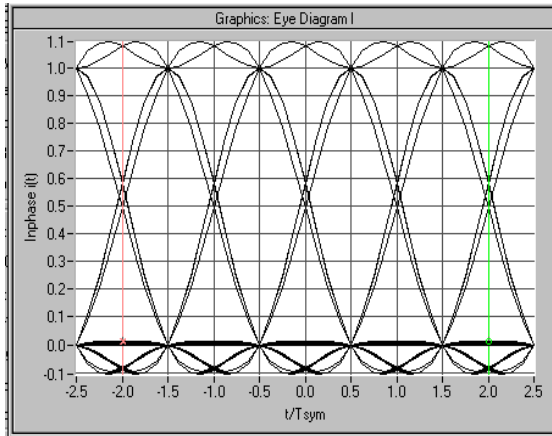
Figura 3.17. Diagrama en fase $i(t)$ con filtro de coseno en un canal ideal.

3.5.5 Diagrama de Ojo y Constelación bajo Ruido Blanco Gaussiano

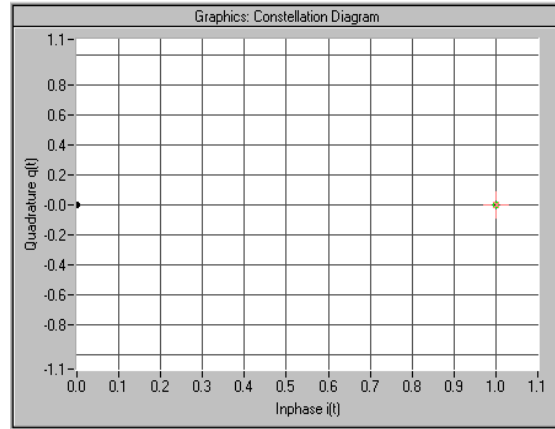
La figura 3.21, muestra la señal perturbada por ruido AWGN con una función filtro. El patrón de ojo, figura 3.21.a, muestra la clara degradación a medida que aumenta el ruido de la señal para una relación energía a bit de 15 dB. A medida que aumenta el nivel de ruido se incrementa la potencia de ruido y el ojo se va estrechando, lo que implica que la señal transmitida se deterioró, y en el receptor (transpondedor) la interpretación de los símbolos puede ser compleja. Los diagramas de constelación y en fase $i(t)$ de la figura 3.21.b y 3.21.d respectivamente, confirman que el receptor es capaz de recuperar la señal transmitida.

En la misma figura, se muestran los símbolos dispersos (nube) alrededor del uno y cero como consecuencia del ruido, sin embargo, conservan su nivel umbral o de decisión, lo que implica que el receptor es capaz de interpretarlos.

La figura 3.21.d, muestra los símbolos afectados por ruido en el receptor, sin embargo, el decisor en el sistema digital de comunicación es capaz de identificar cada bit. Dado que la secuencia transmitida de unos y ceros corresponden a más ceros que unos binarios, los símbolos se concentran en torno a cero en la constelación como se aprecia en la figura 3.21.b.



(a) Diagrama de ojo en fase I



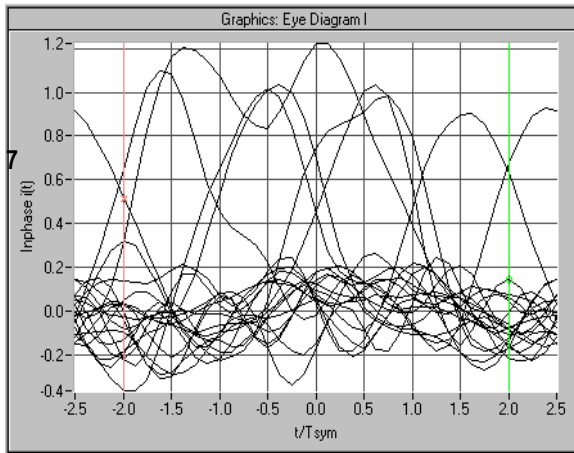
(b) Diagrama de constelación I

Figura 3.18. Diagramas de una señal ASK para un canal ideal con filtro

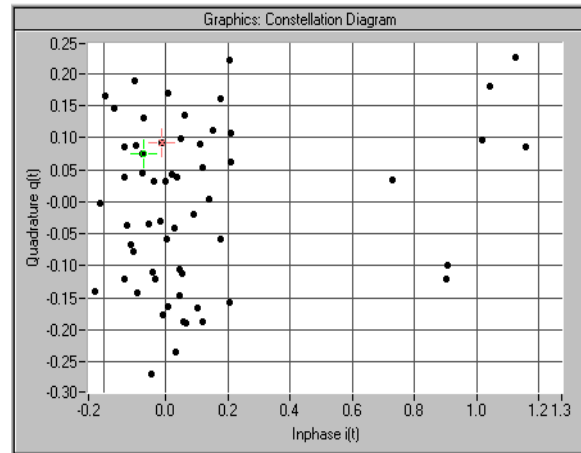
3.5.6 Patrón en fase, Ojo y Constelación Modificando la Relación Energía a Bit (E_b/N_0)

Con la herramienta de simulación se modificó el valor de la relación energía a bit y se estableció qué valores menores a 11 dB generan errores en el receptor, mientras que, valores superiores a 15 dB muestran la capacidad del receptor de interpretar y discriminar los símbolos transmitidos. Particularmente, una relación energía a bit de 9 dB incrementa considerablemente la probabilidad de error (BER, Bit Error Rate) y los símbolos se ubican más allá de su zona de decisión, es decir, se incrementa la tasa de errores en transmisión producto de los símbolos adyacentes en las regiones de decisión.

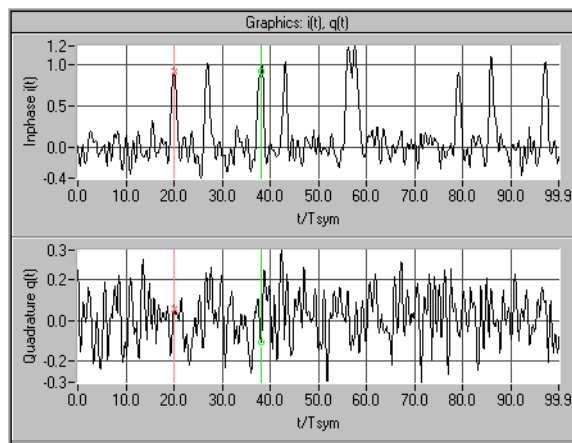
La figura 3.22, muestra el diagrama de ojo en I, constelación y la componente en fase $i(t)$ respectivamente de la señal transmitida cuando se modifica la relación energía a bit (E_b/N_0) agregando un filtro de caída senoidal (factor de *roll off* de 0,6) y ruido AWGN. La figura 3.22.a, muestra un patrón de ojo con una clara degradación por el efecto del ruido y por lo tanto, un ojo muy estrecho. Mientras que el esquema de constelación de la figura 3.22.b muestra los símbolos dispersos muy cercanos entre sí, y no es muy claro que conserven la región de decisión que les corresponde. En la figura 3.22.c se observan los bits recibidos en $i(t)$; aunque es evidente el efecto del ruido en la señal, así, en 20 y 27 T_{sym} se tiene el primero y el segundo bit con ruido.



(a) Diagrama de ojo en fase

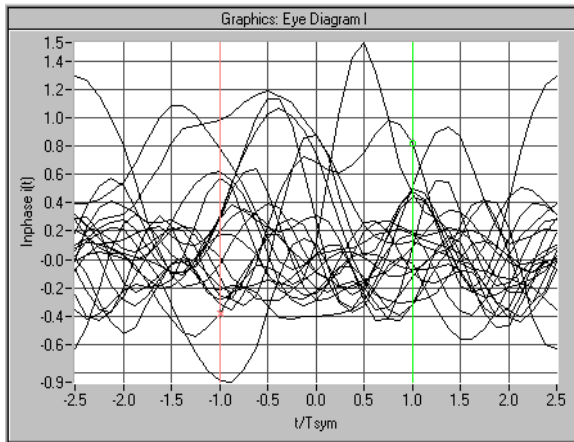


(b) Diagrama de constelación

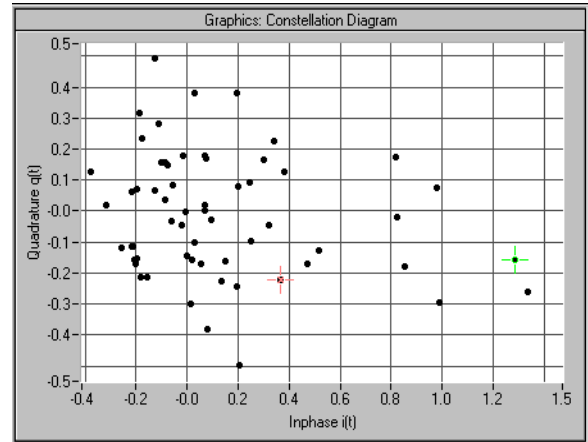


(d) Diagrama en fase y en cuadratura

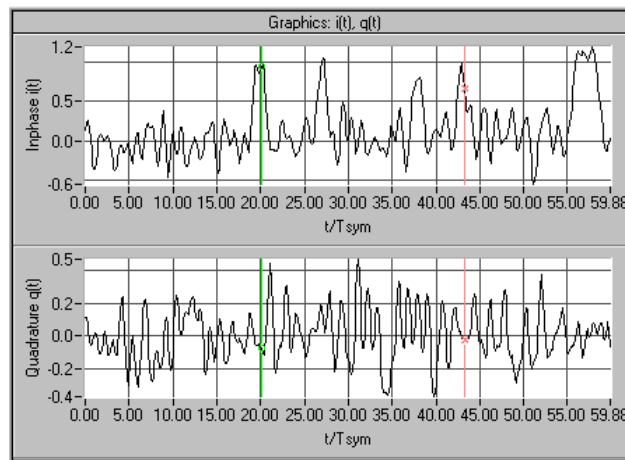
Figura 3.19. Enlace digital con E_b/N_0 de 15 dB perturbado por ruido AWGN



(a) Diagrama de ojo en I



(b) Diagrama de constelación



(c) Diagrama en fase y cuadratura

Figura 3.20. Enlace con E_b/N_0 de 11 dB bajo el efecto de ruido y función filtro

3.6 ESCENARIO 2. SIMULACIÓN BAJO EL ESTÁNDAR ISO 15693

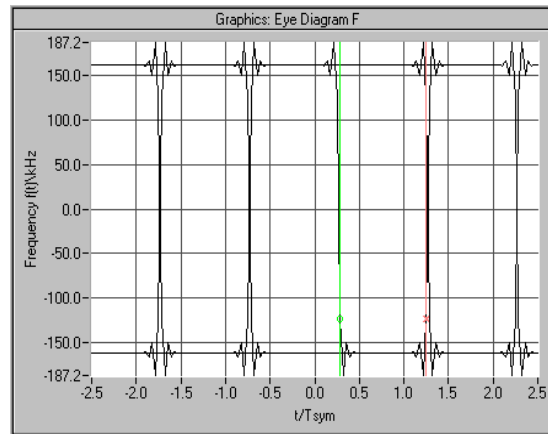
El paquete de información está conformado por 72 bits, donde cada campo de la estructura de la trama tiene una representación particular. En el campo **CMD1** se fija el código binario de comando **Stay Quiet Request** equivalente a la función del comando **Quiet** utilizado por el estándar de la EPCglobal. El comando es utilizado para detener las acciones ejecutadas por una etiqueta, previniendo que responda ante cualquier solicitud de comunicación. Bajo operación del comando **Quiet**, la etiqueta responde con un mensaje de error ante cualquier solicitud. La secuencia binaria introducida en el patrón de secuencia binaria del simulador es la siguiente:

0000 0001 0000 1001 0000 0000 0000 0011 0000 0100 0110 0100 0000 0000 0110 1011 1011 0100²⁶

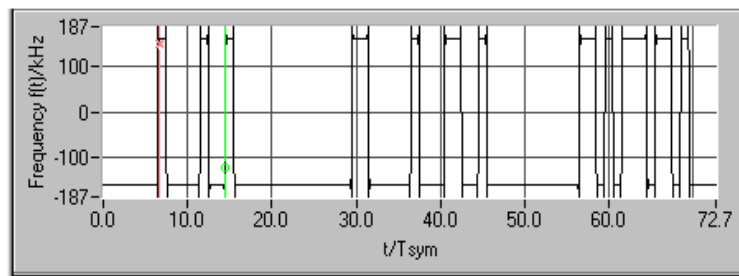
²⁶ La secuencia binaria se obtuvo de los comandos establecidos por la *texas instrument* y de su protocolo de comunicación. Más detalles de otros comandos dirigirse a: <http://www.ti.com/rfid/docs/manuals/refmanuals/RF-MGR-MNMN-15693-refGuides.pdf>. En el anexo C se describe cada campo que forma la cadena binaria

Con base en las especificaciones desarrolladas por el ISO 15693, el panel de modulación se configura bajo algunos datos técnicos que caracterizan la interfaz de aire de un sistema RFID. Así, el tipo de modulación utilizado es una 2-FSK definido en el campo **Type Modulation**. La desviación de frecuencia máxima se selecciona. En general, no se utiliza ningún esquema de codificación de constelación. La tasa de símbolos dada por el estándar es de 27 KHz. La longitud de secuencia (**Sequence Length**) se fija equivalente al tamaño en bits de la secuencia, es decir, 72. Se utiliza una ventana rectangular por defecto, el estándar no especifica nada al respecto sobre la función filtro, sin embargo, se utilizará un filtro de coseno alzado para observar la respuesta. Los demás parámetros se fijan en el modo **Auto** para que el simulador elija los valores más apropiados para cada gráfico.

3.6.1 Diagrama de ojo y constelación para un canal ideal



(a) Diagrama de ojo en F

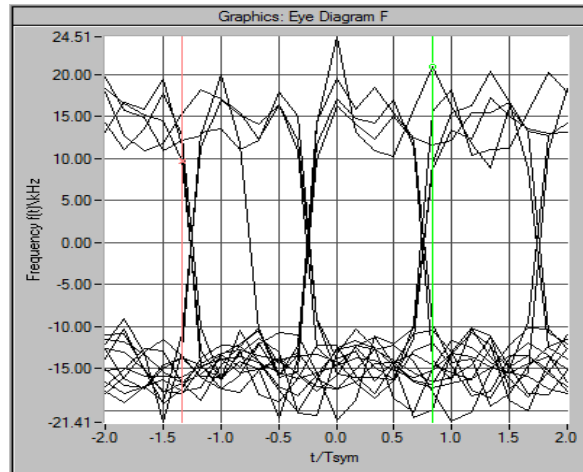


(c) Diagrama de frecuencia instantánea

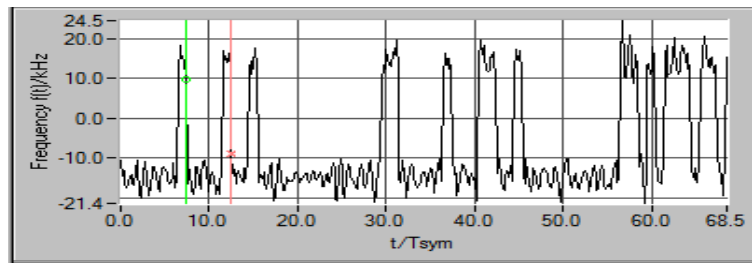
Figura 3.21. Enlace digital bajo el ISO 15693 en condiciones ideales

La figura 3.21.a, muestra el diagrama de ojo en frecuencia (F) cuando la fuente transmite la información en condiciones ideales bajo el estándar ISO 15693. Las transiciones ocurren entre dos valores o niveles de frecuencia ya que se trata de una modulación que utiliza dos frecuencia para transmitir sus datos. El diagrama de constelación figura 3.25.b, muestra los dos símbolos característicos de la modulación FSK binaria, aquí, por cada bit se transmiten un símbolo. Cada símbolo se encuentra perfectamente definido debido a las condiciones ideales del sistema de comunicación digital. El diagrama de frecuencia instantánea $f(t)$ representa cada pulso o *bit* que transmite la fuente libre de ruido. Cada bit de la secuencia es recibido por el demodulador sin que se presenten errores durante la transmisión.

3.6.2 Ruido Blanco Gaussiano (AWGN)



(a) Diagrama de ojo en F



(b) Diagrama de frecuencia instantánea en el receptor

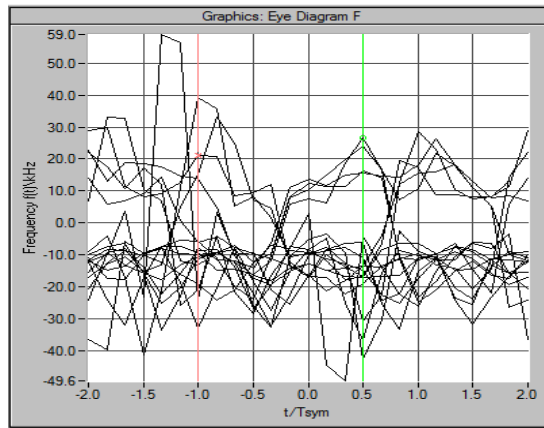
Figura 3. 22. Enlace con E_b/N_0 15 dB bajo el efecto del ruido AWGN

La figura 3.25, muestra la señal afectada por ruido con una relación energía a bit de 15 dB bajo un esquema de modulación FSK, en general ambos diagramas muestran un buen comportamiento de la señal cuando se asume dicha relación; además, se tiene un diagrama de ojo degradado pero aún se notan las transiciones entre los dos valores.

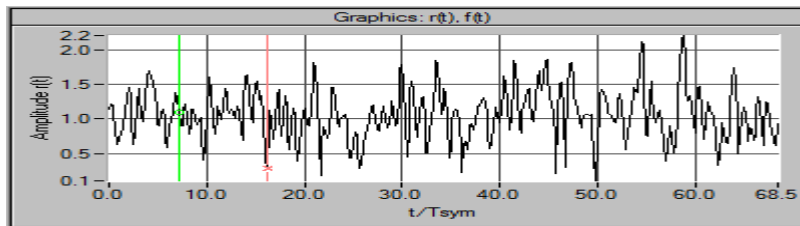
El diagrama de frecuencia en función del tiempo (figura 3.25.c) muestra la secuencia binaria en el receptor afectada por ruido, que no influye de forma definitiva en la recuperación de la señal.

De acuerdo con las figuras 3.19 y 3.25, los diagramas de ojo y constelación muestran un mejor desempeño cuando se modula con FSK bajo el efecto del ruido debido a que FSK almacena la información en los cambios de frecuencia, mientras que ASK la guarda en los cambios de amplitud; ambos esquemas de modulación son relativamente sencillos de implementar por eso son muy útiles para los sistemas RFID.

Finalmente, la figura 3.26 muestra un enlace con un E_b/N_0 de 8 dB, se observa una tasa de errores grande en el receptor y un diagrama de ojo donde las transiciones no son claras. En este caso es muy difícil para el receptor reconocer los símbolos transmitidos ya que la dispersión ocasiona que traslapamiento del nivel de decisión de los símbolos, por esta razón se presentan los errores en la información. El diagrama frecuencia $f(t)$ muestra los datos recibidos en el receptor; es evidente que el ruido enmascara la señal de información



(a) Diagrama de ojo en F



(c) Diagrama de frecuencia instantánea en el receptor

Figura 3.23. Enlace con E_b/N_0 8 dB bajo el efecto del ruido AWGN

4 DISEÑO DEL SISTEMA Y SELECCIÓN DE DISPOSITIVOS RFID PARA LA BIBLIOTECA JOSÉ MARÍA SERRANO

Se propone una configuración de un sistema RFID básico, con el fin de llevar a cabo los procesos de identificación, registro y préstamo de libros en la biblioteca José María Serrano de la Universidad del Cauca que proveerá una opción más eficiente y segura. Este sistema ha sido diseñado para interactuar con el sistema vigente de la biblioteca, para reducir costos y facilitar la transición hacia la tecnología RFID, se realiza solo en el área de reserva y circulación de la biblioteca; el sistema opera en su propia red de trabajo, sin embargo, es necesario conocer la forma de operación del sistema de identificación vigente en la biblioteca con el fin de mejorar sus falencias y aprovechar sus ventajas; también es de especial interés conocer las instalaciones de la biblioteca para ubicar de forma adecuada los dispositivos.

4.1 SISTEMA DE IDENTIFICACIÓN E INFRAESTRUCTURA DE LA BIBLIOTECA SERRANO

La biblioteca central José María es un edificio de 3600 m² con tres pisos y capacidad para reunir a 280 usuarios. Está ubicado dentro de las instalaciones de la Facultad de Educación y presta servicio a las facultades de: Ciencias Naturales, Exactas y de la Educación, Ingeniería Civil, Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones y a los postgrados de las facultades mencionadas; en sus anaqueles tiene aproximadamente 110000 libros. El primer piso de la edificación lo ocupan las colecciones: general, reserva, referencia procesos técnicos y salas de lectura; en este nivel se centrará el estudio; en el segundo piso se encuentran la hemeroteca (publicaciones periódicas), tesis, mapas, láminas, microfichas, lectores e impresores, y otra sala de lectura [35][36].

4.1.1 Sistema de Clasificación Dewey

La Biblioteca de la Universidad del Cauca ha adoptado el sistema de Clasificación Decimal Dewey que es el más utilizado en el mundo con más de 135 países. Su estructura se basa en un modelo jerárquico decimal que abarca desde los temas más amplios hasta los más concretos. Este sistema proporciona una codificación universal para la organización y distribución de libros por diferentes categorías [37].

4.1.2 Ubicación del Sistema de Identificación Barcode

La figura 4.2, ilustra la ubicación del sistema actual de código de barras (barcode) para la zona de circulación y reserva de libros de la biblioteca José María Serrano.

4.1.2.1 Estaciones Fijas

Tres estaciones fijas de préstamo de libros, dentro del recinto donde se encuentran los anaqueles, dos de ellas se encargan del préstamo de libros de reserva y una del préstamo en el área de circulación, cada una es controlada independientemente por un funcionario de la biblioteca y está compuesta por un lector de código de barras Symbol LS 2100 y un computador que conecta el lector con el servidor central, además, hay una banda magnética para las tres estaciones que sirve para desactivar los sensores EAS con el fin de que no se encienda la alarma sonora de la salida. Cada día se prestan en estas estaciones un promedio de 100 ejemplares según estadísticas del año 2007 [36]. La figura 4.3 ilustra el sensor utilizado en la biblioteca.

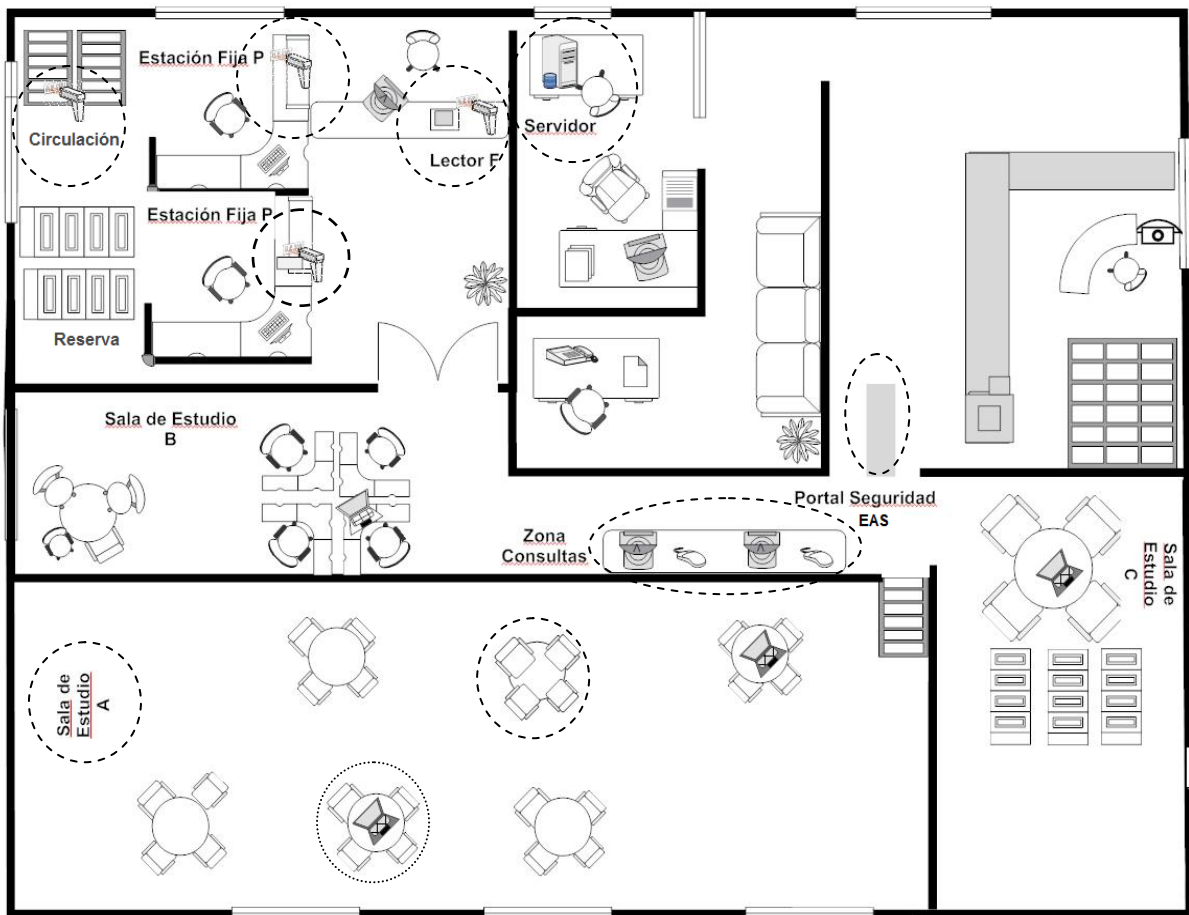


Figura 4.1. Distribución del sistema *barcode* en el área seleccionada de la biblioteca Jose Maria Serrano



Figura 4.2. Lector de Código de Barras Symbol LS 2100 del área de Reserva

4.1.2.2 Lector Portátil

El dispositivo de la figura 4.4 fue adquirido para facilitar el proceso de inventario o registro en la biblioteca, es más costoso que los lectores fijos, además, su utilización requiere de mayor cuidado; su batería tiene una duración máxima nominal de 2 horas, esto es un gran impedimento a la hora de hacer el inventario ya que la batería no da abasto para registrar todos los libros de reserva y circulación, por eso se hace necesario detener el inventario mínimo tres veces y esperar el tiempo necesario para que el dispositivo se cargue con la energía suministrada por el puerto USB del computador.



Figura 4.3. Lector portátil de código de barras Symbol LS 4278

4.1.2.3 Estaciones de seguridad

Se adecuaron las instalaciones para que la única forma de salida sea a través de un área de vigilancia electrónica de artículos, con un portal SENSORMATIC (ver figura 4.5), cada libro aparte del código de barras tiene al interior una etiqueta EAS (Electronic Article Surveillance); que si esta activa es detectada al pasar por el portal y produce un alarma sonora [37].

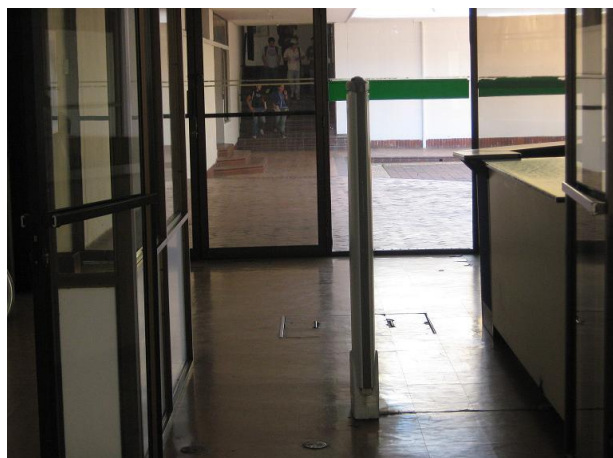


Figura 4.4. Portal Sensormatic para lectura de etiquetas EAS

4.1.3 Descripción de los Dispositivos

La siguiente sección describe los dispositivos utilizados en la biblioteca Jose Maria Serrano de la Universidad del Cauca para la gestión de libros.

4.1.3.1 Escáner Symbol Hot Shot LS 2100

Estos dispositivos de lectura están entre los primeros desarrollos con diseño ergonómico, su rango máximo teórico de lectura son 43 cm aunque en la práctica en el escenario de la biblioteca se reduce hasta a 11 cm debido al tamaño reducido del código y la falta de nitidez del mismo; es completamente necesario que haya línea de vista entre el código y el lector, además, que el código debe estar perfectamente perpendicular al rayo del lector para ser efectivamente identificado.

Este dispositivo puede ser programado mediante una aplicación que se instala en el *host* o escaneando una secuencia de código de barras que viene en el manual de usuario, también durante la vida útil del dispositivo se utiliza este código, para desbloquear el dispositivo, Esta serie de escáneres se encuentra descontinuada, y fueron reemplazados por la serie 2200 que ofrece importantes progresos; algunas de sus características básicas se mencionan en la tabla 4.2

Características Físicas del Lector Symbol Hot Shoot LS 2100	
Dimensiones	16.7cm*8.5cm*7cm
Peso	160g
Voltaje	5VDC+/- 10%
Corriente	100mA a 5V, 200mA max
Fuente de luz	650nm diodo laser visible
Distancia de trabajo EAN/UPC 100%	0 a 43cm
Distancia de trabajo practica	2.8 a 10.7cm
Rango de decodificación	35 por segundo

Tabla 4. 1. Características básicas del escáner Symbol Hot Shoot LS2100 [38]

4.1.3.2 Lector de mano inalámbrico Symbol LS 4278

Este dispositivo corresponde a una terminal inalámbrica para lectura de código de barras que puede alcanzar una distancia teórica de hasta 15 metros entre el *host* y el lector mediante una red personal inalámbrica *WPAN Bluetooth* integrada que permite la transmisión de datos [41] (algunas de sus características mas importantes se resumen en la tabla 4.3). Este lector solo se utiliza para el proceso de inventario por su movilidad, no es funcional en el préstamo diario de libros porque su batería se descarga muy rápidamente, incluso durante el inventario.

Características físicas del lector Symbol LS 4278	
Dimensiones	18.5cm x 9.8cm x 6.9cm
Peso	Lector 238gr Host 183gr
Voltaje	5V DC +/- 10%
Corriente	450mA a 5V
Fuente de luz	650 nm Diodo LASER
Rango de decodificación	200 por segundo
Distancia de trabajo EAN/UPC 100%	De 0 a 48.25 cm
Distancia de trabajo practica	de 3.81 a 13.97 cm

Tabla 4.2. Características básicas del escáner Symbol LS 4278 [39]

4.1.4 Descripción de los Procesos

4.1.4.1 Préstamo

Cuando el usuario desea prestar un ejemplar acude a una de las terminales de acceso del Software unicornio que es el sistema de gestión de bibliotecas, con el fin de buscar el libro por su título en una base de datos y obtener el código con el que se identifica, después pasa donde la persona encargada de los préstamos, quien pasando el carné por el lector de código de barras verifica la ficha del estudiante (ver figura 4.6) comprobando en su respectivo orden si existe su nombre y cédula en el sistema, si tiene multas o préstamos pendientes y finalmente si tiene reservas pendientes.

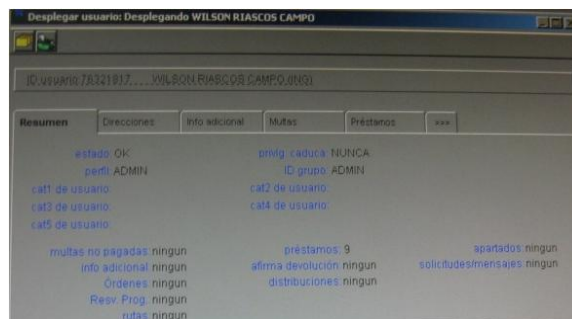


Figura 4.5. Ficha del estudiante

Una vez consultada la información pertinente, asegurándose que se encuentra a paz y salvo con la biblioteca, se procede a comprobar la información del ejemplar verificando primero si el código del libro existe, si el libro esta prestado o se encuentra disponible en los anaqueles, luego se lo ubica mediante el sistema de clasificación ya que los primeros números del código se encuentra impresos en los anaqueles con el fin de que el encargado conozca el área donde debe buscar; cuando localiza el ejemplar lo pasa por el lector de código de barras para ingresarlo a la ficha del estudiante con la respectiva fecha en la que se tiene que realizar la devolución, que corresponde a una semana si pertenece al área de circulación y a un día si es de reserva, luego se desactiva la etiqueta EAS del libro mediante una banda magnética de la figura 4.7 para que no se active la alarma en el portal de salida.

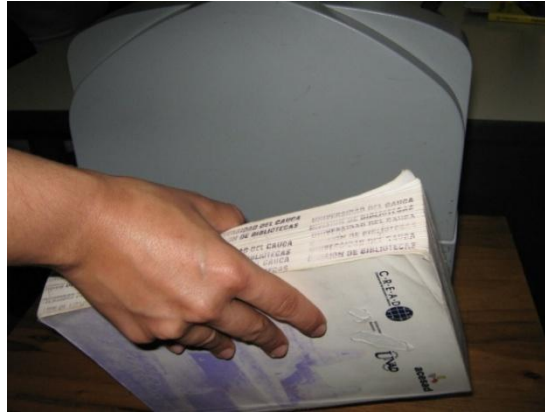


Figura 4.6. Banda magnética para desactivar etiquetas EAS

4.1.4.2 Devolución

El estudiante le entrega el libro a la persona encargada que lo pasa por el lector verificando que la fecha de entrega este dentro de lo acordado, (si son varios libros deberá repetir el mismo proceso las veces que sea necesario); al pasarlo por el lector de código de barras aparecerá nuevamente el libro dentro del sistema como disponible para préstamos. También es necesario pasarlo por un pequeño dispositivo que se muestra en la figura 4.8 y que activará de nuevo la etiqueta EAS para que se active la alarma sonora en caso de que el libro sea extraído de las instalaciones.



Figura 4.7. Dispositivo activador del sensor magnético EAS

4.1.4.3 Registro

El inventario consiste en verificar que todos los ejemplares que están en el sistema se encuentran en los anaqueles, para esto es necesario confrontar la base de datos con los libros en los anaqueles por eso la universidad ha adquirido un lector con el fin de que se pueda hacer el registro de forma sistemática, además se han colocado los códigos de la mayoría de libros en su parte externa con el fin de facilitar la lectura aunque esto reduce la vida útil del código porque queda más expuesto a daño y corrosión, además, no todos los códigos están colocados en el mismo sitio y en el mismo sentido entonces durante el inventario se debe variar la posición del lector varias veces hasta conseguir la lectura de un código dado.

4.1.5 Comparación de la Tecnología RFID con el Código de barras en la Biblioteca Serrano

- ❖ El uso de la tecnología RFID permite un aumento considerable en la cantidad de préstamos y devoluciones que se pueden llevar a cabo en un periodo más corto de tiempo gracias a la lectura múltiple de etiquetas.
- ❖ Se reduce notablemente el tiempo empleado en los procesos de préstamo, y devolución de libros ofreciendo considerables ventajas en casos en que se lleva o se devuelve más de un ejemplar gracias a la lectura múltiple de etiquetas.
- ❖ Cuando los estudiantes hacen devoluciones de ejemplares, se acumulan todos de tal forma que el lector de *gate* realice solo un proceso de lectura y se actualicen los datos en el sistema.
- ❖ Se pueden realizar inventarios periódicos de los libros sin sacarlos de los anaqueles de forma ágil, sin detener el funcionamiento de los servicios normales.
- ❖ Evitaría complicaciones y ahorraría tiempo en los procesos de identificación, registro y préstamo cuando los códigos están en la parte interior del ejemplar.
- ❖ RFID permite la lectura simultánea de múltiples etiquetas, importante ventaja para realizar el registro, ya que no sería necesario pasar el lector portátil por cada ejemplar simplemente sostenerlo en sitios estratégicos, para que realice la lectura instantánea de grupos de libros, reduciendo así el tiempo del inventario, y haciendo innecesario recargar el lector portátil.
- ❖ Las etiquetas RFID brindan mayor seguridad porque no son de sencilla falsificación, por el contrario el código de barras puede reproducirse exactamente mediante una impresión o copia. La etiqueta es única, por tanto, evita hurtos de los ejemplares de la biblioteca.
- ❖ Si la información del ejemplar se modifica no es necesario reemplazar la etiqueta como sucede con el código de barras porque las etiquetas tienen la posibilidad de reutilizarse y escribirse en su memoria varias veces, además, se puede modificar la información impresa en la etiqueta o añadir información.
- ❖ Las etiquetas por su revestimiento y material tienen mayor tiempo de vida útil que el código de barras impreso.
- ❖ La lectura mediante el sistema RFID se puede hacer a distancias 10 veces mayores que el código de barras y no es necesario que el lector tenga contacto con los libros, ni que haya línea de vista entre el lector y la etiqueta, además no es estrictamente necesario orientar la etiqueta en una dirección específica, como en el caso del código impreso que debe ser colocado de forma paralela al rayo emitido, estas ventajas facilitan y agilizan de forma notable los procesos mencionados.
- ❖ Se espera que el proceso de inventario mediante el dispositivo inalámbrico de radio frecuencia se realice en un tiempo record de 6 horas, no es estrictamente necesario suspender el servicio de la biblioteca en este periodo; actualmente este proceso toma dos días, y no se realiza de forma periódica, porque hay que cerrar la biblioteca
- ❖ Con el sistema código de barras el ingreso como devolución de un solo libro al sistema toma aproximadamente 20 s, gracias a la lectura múltiple de etiquetas el sistema RFID gastaría el mismo tiempo en leer todos los libros que han sido devueltos en una jornada.
- ❖ En los códigos de barras impresos en los libros sólo se pueden almacenar 106 caracteres que corresponden al número de identificación del ejemplar mientras las etiquetas RFID tienen capacidad para almacenar 2 Kbits de información que van a contener el nombre del ejemplar, cuantas copias existen, la edición, autor, temática y una breve reseña de su contenido.

La tabla 4.3 resume una la diferencia entre código de barras y RFID.

4.2 DISEÑO DEL SISTEMA RFID

Después de conocer cómo interactúan actualmente los procesos y el personal administrativos de la biblioteca José María Serrano y, analizar la información obtenida con los diferentes funcionarios, ponderando las ventajas de RFID sobre el código de barras, se procede a realizar un diseño básico de un sistema RFID para los servicios de identificación, registro y préstamo de ejemplares en las instalaciones, de tal forma que la transición entre las dos tecnologías sea lo más cómoda y sencilla posible para el personal que maneja la biblioteca y para los usuarios, buscando que coexistan el sistema de código de barras vigente con el nuevo sistema RFID.

Parámetros del sistema	Código de Barras	RFID
Máxima distancia de lectura	15 cm	0 -56 m
Influencia de la dirección y de la posición	Alta	Baja
Resistencia a la humedad y altas temperatura	Bajo	Muy alto
Costos	Baja	Altos
Velocidad de lectura	Baja (4 s)	Muy rápida (0.5 s)
Seguridad de la Información	Muy baja	Muya alta
Capacidad de datos	Baja	Muy alta
Capacidad de almacenamiento	Muy Bajo	16 -64 KBytes
Lectura sin línea directa	Bajo	Muy Alto
Anticolisión	No permite	Permite
Lectura múltiples de etiquetas	Lecturas secuenciales	Lectura simultánea automática

Tabla 4.3. Comparación entre el código de barras y un sistema RFID.

4.2.1 Propuesta del Sistema RFID

La figura 4.9, propone una configuración RFID para la biblioteca José María Serrano de la Universidad del Cauca. Consiste en una configuración básica basada en el sistema de código de barras de tal manera que funcionen ambas tecnologías, con el fin de facilitar la transición entre las dos tecnologías, ya que inicialmente aplica la tecnología de identificación por RF solo en un área de la biblioteca (libros de reserva y circulación), de tal modo que el personal encargado y los estudiantes se vayan familiarizando con su manejo y apreciando sus ventajas, dando un paso a desarrollos futuros que podrían llevar a aplicar la tecnología no solo los ejemplares de la biblioteca, sino en otras bibliotecas de la universidad, e incluso, podría llegar a utilizarse para el manejo de los carnets de los estudiantes de la universidad, siguiendo la tendencia mundial a automatizar los procesos con el fin de simplificarlos, haciéndolos más rápidos y eficientes.

4.2.2 Descripción del Sistema

Cada componente seleccionado que integra el sistema general RFID se describe a continuación.

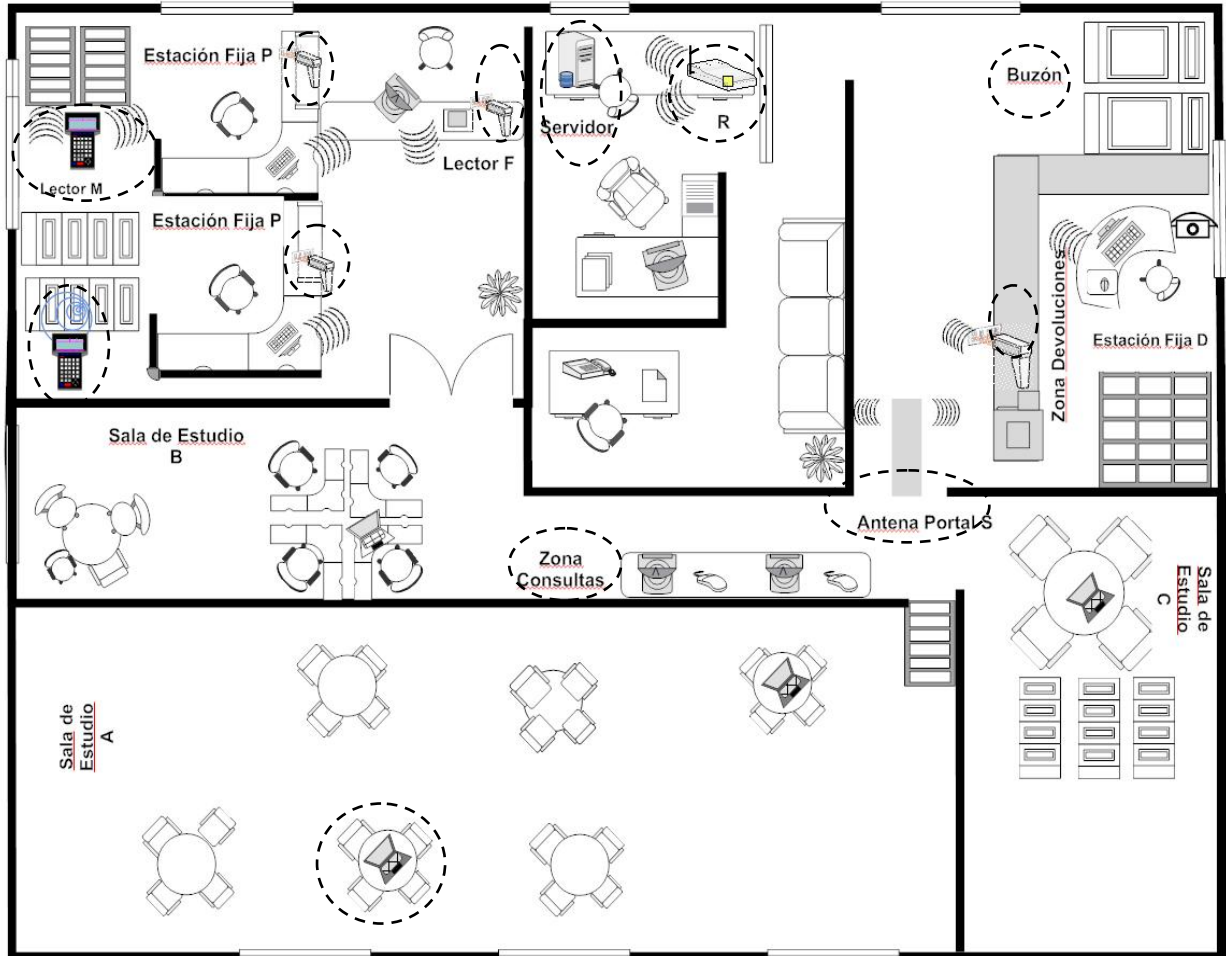


Figura 4.8. Configuración básica de un sistema RFID para la biblioteca José María Serrano

4.2.2.1 Estaciones Fijas

Hay dos estaciones fijas encargadas del préstamo de libros en el área de reserva y una para el mo en el área de circulación están compuestas por un lector para RFID multiprotocolo S6700 con su respectiva antena; además hay una estación fija a la entrada, encargada de ingresar las devoluciones y evitar hurtos, constituida por un lector *multi-tag Long Range ID ISC LR 200-x* y dos antenas portal ID ISC ANT 1400/700A y ID ISC ANT 1400/700B. Cada una de las estaciones mencionadas se comunica con un host que a su vez interactúa de forma inalámbrica con el servidor central que contiene la base de datos.

4.2.2 Lector portátil

Este dispositivo se utilizan para los procesos de inventario e identificación de libros en los anaqueles, consiste en un lector portátil PA 6000 adecuado para llevar a cabo de forma eficiente y rápida el registro de los ejemplares, su batería alcanza para hacer el inventario de toda el área de la biblioteca, ubicándolo en lugares estratégicos, donde realiza la lectura de varias etiquetas de forma simultánea sin que haya necesidad de pasarlo por cada ejemplar. Tiene una conexión inalámbrica con el servidor para comparar en tiempo real los datos leídos con los que contiene la base de datos, como es un dispositivo inalámbrico bastante robusto, contiene información de los libros de la biblioteca y puede usarse para agilizar el proceso de búsqueda cuando se va a hacer un préstamo.

4.2.3 Descripción de Dispositivos

4.2.3.1 Etiquetas

Corresponden a la parte central del sistema, se adhiere una etiqueta tipo *sticker* en la parte interior de la portada de cada libro; en ellas se almacena un código, título, edición, materia, autor, tipo de libro y una breve reseña de los temas del ejemplar; por sus características, se ha escogido el siguiente transpondedor por considerarse una de los más idónea para la aplicación.

La etiqueta *TAG- IT* [40][41] se caracteriza por:

- ❖ Etiquetas diseñadas por Texas Instruments líder de la tecnología
- ❖ Operan a una frecuencia de 13.56 MHz.
- ❖ Cumplen con el estándar ISO15693 de tarjetas de proximidad.
- ❖ Tienen 2 Kbits de memoria organizados en 64 bloques de 32 bits.
- ❖ Son *tags* pasivos que utilizan reducidas cantidades de potencia para su funcionamiento.
- ❖ tiene unas dimensiones de 85.6mm x 54mm x 0.76mm (estándar ISO 7810 numeral 2.7.1)
- ❖ Tamaño de la antena 45mm x 76mm
- ❖ Por su construcción son etiquetas de gran seguridad.
- ❖ No son fácilmente duplicables y manejan CRC.
- ❖ Son las más adecuadas para identificación simultánea.
- ❖ Tienen comunicación inalámbrica half duplex.
- ❖ Soportan lectura y escritura.

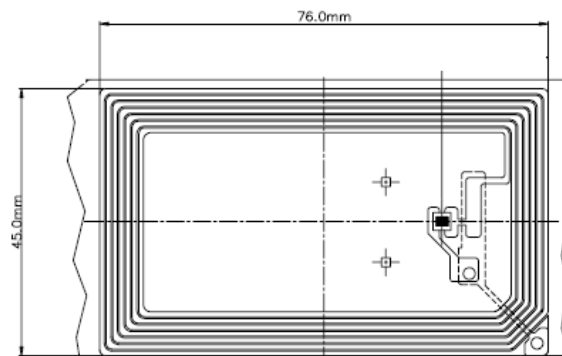


Figura 4.9. Estructura de la etiqueta Tag-it [44]

- ❖ **Circuito integrado:** El circuito integrado de esta etiqueta es parte de una familia de circuitos integrados que trabaja a una frecuencia de 13.56MHz y están basados en el estándar para circuitos integrados inalámbricos ISO 15693 y el estándar ISO 18000-3 para gestión de dispositivos. Este tipo de circuitos integrados sirve de base para varias etiquetas empotradas de rápida identificación que se usan para aplicaciones en entornos cerrados como: seguimiento de objetos valiosos, prevención de falsificaciones, distribución logística, gestión de objetos.
- ❖ **UID:** Cada *tag* tiene una dirección única o número de identificación único (UID) almacenado en dos bloques de memoria, que han sido programados por el fabricante en dos grupos de 64 bits que puede ser usada para direccionar cada transpondedor única e individualmente, con el fin de que el intercambio entre el lector y la etiqueta sea uno a uno como mecanismo para resolver las posibles colisiones, implementado en casos de múltiples transpondedores. Esta característica especial, permite que varias etiquetas sean leídas simultáneamente y brinda la capacidad de inventariar en muy corto tiempo gran cantidad de etiquetas por su dirección única, siempre y cuando se encuentren dentro del rango de operación del lector.
- ❖ **Comandos:** Este transpondedor responde a una serie de comandos implementados en el circuito integrado que contiene la etiqueta, su ejecución se describe de forma sencilla en el *datasheet* [39][40] de la etiqueta y corresponde al estándar al ISO/IEC 15693.
- ❖ **Organización de la Memoria:** Los datos del objeto, están escritos en bloques de memoria usando una memoria no volátil EEPROM de Silicon Technology. Para ello dicha memoria tiene una capacidad de 2kbit que se encuentran distribuidos en 64 bloques, cada bloque de 32 bits se puede programar de forma individual por el usuario o por el fabricante dependiendo de cómo ha sido programado el *tag*, y puede bloquearse para proteger la información, cuando se bloquea los datos no se pueden modificar.
- ❖ **Modos y modulaciones:** El *tag it HF* es un *tag* con comunicación half dúplex que funciona con baja potencia, es usado para identificación inalámbrica en sistemas pasivos, el circuito integrado de la etiqueta, está diseñado para operar a una frecuencia de portadora de 13.56 MHz; los estándares de ISO definen varios modos para las formas de modulación, en los diferentes parámetros de comunicación con el fin de que converjan regulaciones heterogéneas para radio frecuencia en muchas aplicaciones, en el caso de el *tag it HF* la comunicación entre el lector y la etiqueta (downlink) usa modulación ASK. De acuerdo al ISO 15693 la comunicación de la etiqueta al lector (up link) puede llevarse a cabo con una subportadora (modulación ASK) o con 2 subportadoras (modulación FSK) ambos modos pueden operar con bajas o altas velocidades de transmisión de datos. La etiqueta va a dar respuesta en la forma en que fue interrogada por el lector, las comunicaciones *uplink* (enlace de subida) y *downlink* (enlace de bajada) están sincronizadas en su trama y usan comprobación por paridad.

4.2.3.2 Lector RF S6700

Se eligió para la configuración de la aplicación un lector S6700 de Texas Instruments [42][43] para las estaciones fijas de préstamo de libros; es un lector multiprotocolo cuyas especificaciones son aptas para los servicios requeridos en la biblioteca, abre un camino para que el sistema planteado pueda llegar a desarrollarse a corto o mediano plazo.



Figura 4.10. Circuito lector S6700 [45]

El lector tiene las siguientes características principales:

- Es un lector de alta frecuencia HF 13.56MHz
 - Soporta los protocolos de comunicación Tag it protocol, ISO/iIEC15693-2, ISO 14443-2
 - Permite leer hasta 50 tags simultáneamente por segundo en un ambiente ideal
 - Es un dispositivo diseñado para identificación, regulación y seguridad de objetos en ambientes cerrados.
 - Tiene un rango de lectura de hasta 1 m
 - Su temperatura de operación entre -40 y +85 °C
 - Utiliza un voltaje entre 3 y 5.5V
 - Transmite una corriente entre 80 y 120mA
-
- ❖ **Transmisor:** El transmisor puede alcanzar más de 200 mW de potencia RF para una carga ajustada de 50 Ω con 4 V. El transmisor codificador convierte los datos en el protocolo de comunicación seleccionado para que sean transferidos por la antena hacia los tags, la velocidad de la comunicación varía de 5 a 120 kbaudios y debe ser como mínimo la velocidad del protocolo del seleccionado
 - ❖ **Receptor:** El decodificador receptor, recibe los datos del tag a través de la antena y los envía directamente al controlador en formato binario. La velocidad de la comunicación y el protocolo de comunicación, son definidos por el modo seleccionado, los errores son detectados en la cadena de datos y se indican a la salida.
 - ❖ **Voltaje:** Requiere de un valor nominal de voltaje externo de 5V; se garantiza la operación entre 3 y 5,5 V. la corriente depende de la impedancia de la antena y la configuración de la red de salida. Se recomienda usar una buena potencia para minimizar el ruido.
 - ❖ **Reloj de referencia y oscilador interno:** Todas las señales estas sincronizadas internamente con el sistema de reloj; el reloj de referencia, se puede obtener de forma externa aplicando una señal ajustable de reloj o una señal lógica compatible CMOS, es un sistema de reloj externo aceptable. El oscilador de referencia debe trabajar con un cristal de cuarzo o cerámica resonante. La frecuencia nominal del sistema es de 13,56MHz, pero el oscilador va a trabajar a cualquier frecuencia entre 4 y 16 MHz.
 - ❖ **Valores por defecto y manejo de potencia:** Después de que se pone en cero la potencia, el dispositivo esta en sus valores por defecto. Hay tres modos de potencia disponibles, en el primer

modo el dispositivo esta con toda la potencia, en el modo ideal, solo el oscilador de referencia y un mínimo de circuitos asociados están funcionando. En el modo de baja potencia, toda la parte interna del dispositivo está completamente apagada; el circuito funciona cuando se aplica un pico de voltaje

- ❖ **Protocolos de comunicación:** Este lector puede soportar los siguientes protocolos de RF, ISO/IED 15693, ISO/IEC 14443-2. La transmisión de los datos binarios depende de la definición del protocolo de RF seleccionado, para ISO 15693 y para ISO 14443 se debe enviar primero el bit menos significativo, la respuesta en binario según el protocolo *tag-it* y el ISO 15693 contiene 2 ceros adicionales para indicar el fin de la transmisión.

4.2.3.3 Antena RI-ANT-T01A [44]

El lector deber ir articulado con una antena óptima para trasmitir y recibir, por eso se ha escogido una antena desarrollada por Texas Instruments TI como se muestra en la figura 4.12. La antena trabaja a una frecuencia de 13,56 MHz y se acopla perfectamente con los lectores de la serie S6000, además, no presenta problemas al ser usada con otros lectores que manejan una frecuencia de 13,56 MHz y una impedancia de salida de 50 Ω . A continuación se mencionan algunas características:



Figura 4.11. Antena externa acoplada al lector de TI [46]

- Una antena de un aro simple tiene su mejor rango de trabajo en el centro de la antena con la etiqueta alineada paralela a la antena
- Su funcionamiento depende de la potencia que le trasmite el lector, del nivel de ruido en el ambiente y de su cercanía a elementos metálicos.
- La máxima intensidad de campo magnético permisible a 10m es de 38dB μ (A/m) (FCC) y 42dB μ (A/m) para (ETSI), soporta otros niveles.
- Sus dimensiones son 332 mm x 337 mm x 38 mm.
- Potencia de transmisión máxima 8 W.
- Temperatura de operación -25°C a 55°C.
- Tiene un rango de lectura de 75cm a 1 m.
- Peso es 0,7 Kg.

4.2.3.4 Lector Movil HF PA 600

El dispositivo PA600 de *Unitech* [45] es un computador móvil, compacto y robusto integrado con un lector RFID para HF, soporta los estándares ISO 15693, ISO14443A e ISO14443B este dispositivo es ideal para toda tipo de aplicaciones RFID e incluso puede soportar varias aplicaciones.



Figura 4.12. Lector móvil HF PA600 [47]

El lector Móvil cumple con las siguientes características:

- ❖ Tiene una pantalla QVGA con tecnología *touch screen* y un teclado alfanumérico.
- ❖ Cumple con todos los estándares para conexiones inalámbricas *Bluetooth*.
- ❖ Es un dispositivo inalámbrico de fácil manejo, gracias a su interfaz gráfica
- ❖ Soportar una base de datos Oracle lite, Microsoft Biz Server 2006
- ❖ Su encapsulado protege al chip contra el polvo y la humedad.
- ❖ Viene con un sistema operativo Windows Mobile 5
- ❖ Es portable, ergonómico y cabe perfectamente en un bolsillo
- ❖ Su peso es aproximadamente 310 g.

Entre sus aplicaciones usuales se encuentran:

- ❖ Utilizado por los visitantes de los museos para leer los *tags* que contienen información sobre lo exhibido.
- ❖ Se utiliza en los hospitales, para que se almacene la identificación del paciente y los medicamentos que le son administrados
- ❖ También se usa en bibliotecas para que los usuarios puedan conocer inmediatamente toda la información de los libros sin necesidad de revisarlos, e incluso para implementar en las mismas sistemas de autopréstamo.
- ❖ Inspección de tiquetes para aplicaciones a nivel de transporte.

4.2.3.5 Router Inalámbrico

Para dotar la red de funcionalidad las estaciones fijas establecen un enlace *wireless* a través de un router en modo infraestructura, es decir, todos los componentes de la red tienen como punto central el router; cada estación incorpora una tarjeta de red inalámbrica (NIC, Network Interface Card) para conformar una red WLAN (802.11 b). El router (R) de la figura 4.9, "**Router R**" es conectado a un *host* con una aplicación de gestión de libros, un servidor Web y una base de datos donde se almacenan los usuarios (profesores, exalumnos y estudiantes) y, libros de reserva y circulación, entre tanto, el servidor Web recoge los datos y estadísticas de cada una de las operaciones efectuadas por los lectores fijos RFID cuando se lleva a cabo el proceso de identificación o registro de un ejemplar. Así, se identifican fácilmente los libros prestados durante el día. Para el proceso de inventario se utiliza el lector móvil PA 600 que soporta diversos tipos de comunicación USB, bluetooth, wireless (802.11), este último establece la conexión con el router inalámbrico seleccionado.

El lector fijo S6700 y cada estación central utilizan una interfaz de comunicación serial (RS-242) según se especifica en su hoja de datos (véase numeral 4.2.3.2); utilizando un dispositivo de conversión es posible adaptar cada uno de los lectores de RF a la red WLAN (Wireless Local Area Network). De este modo, el EZL-300 [48] concede al lector conectividad inalámbrica para llevar a cabo el proceso de inventario de libros de una forma eficiente y muy rápida, sin utiliza la conexión serie (véase numeral 2.5.1). El conversor adapta, paquetiza y establece la trama de información del lector para ser enviada por el canal inalámbrico hacia el router. Solo basta conectar el **conversor EZL-300** con el lector y empezar a realizar el inventario de tal modo que la información obtenida por el lector del *tag* de RF es almacenada y actualizada en el servidor ofreciendo movilidad por cada uno de los anaqueles de libros que se encuentran en las instalaciones de la biblioteca. La figura 4.14 muestra la conexión entre el lector, el dispositivo de conversión y el host.

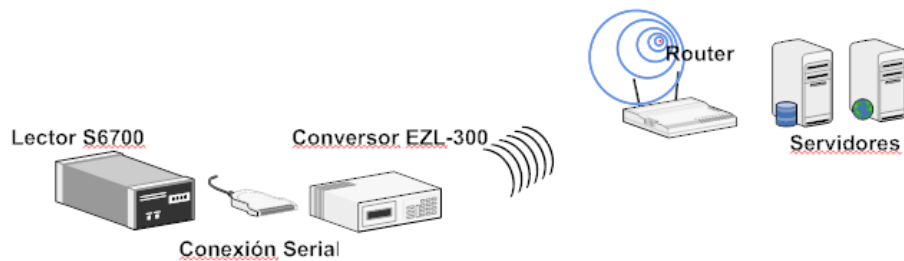


Figura 4.13. Conversión de estaciones fijas a estaciones portables

4.2.3.6 Lector Multi-tag Long Range [48]

Para un mejor acoplamiento con las antenas portal se ha escogido un lector Multi-tag Long Range *ID ISC LR 200-x* que cuenta con las siguientes características:



Figura 4.14. Lector multitag de largo alcance

- ❖ Es un lector para aplicaciones donde es necesario leer múltiples etiquetas
- ❖ Tiene implementado un algoritmo de anticollisión ALOHA Ranurado
- ❖ Tiene implementado el protocolo multitag o la capacidad de leer etiquetas simultáneamente a través del protocolo SMP (standard **multi-tag** protocol).
- ❖ Se acopla a gran variedad de antenas(portal, simples y estaciones de escaneo)
- ❖ Este lector multitag soporta los estándares tag-it, I.CODEy ISO 15693
- ❖ Dimensiones de 200 mm x 300 mm x 160 mm

4.2.3.7 Antena portal OBID i-scan Long –range [49]

Además, de las funciones de préstamo, inventario y devolución es necesario tener en cuenta la seguridad de los ejemplares, por eso se hace uso de dos antenas portal que conforman un sistema antihurto que se encargan de la seguridad de los ejemplares y de la devolución de los mismos, por eso se han escogido los dispositivos mas idóneos a nivel de seguridad y lectura de múltiples etiquetas; su porcentaje de detección es muy elevado. Cada portal esta conformado por una antena base ID ISC.ANT1400/700-A y la antena complemento ANT1400/700-B para la identificación automática de etiquetas RFID la máxima separación entre las compuertas es de 1m y no es necesaria un orientación específica de las etiquetas al pasar entre las compuertas. Sus principales características son:

- ❖ Son compuertas de 75 x 1553x 88 mm
- ❖ Temperatura de operación -25°C a 50C
- ❖ La potencia máxima transmitida cada antena es de 8 W
- ❖ Su frecuencia de operación es 13.5 MHz
- ❖ Su peso es de 22 Kg.



Figura 4.15. Antena portal OBID i-scan Long–range [47]

4.2.4 Descripción de los Procesos o Servicios para el Sistema RFID

Los procesos mencionados usando el sistema de código de barras se describen a continuación utilizando la tecnología de identificación por Radio Frecuencia.

4.2.4.1 Préstamo

El proceso de préstamo se inicia cuando el estudiante acude a una de las terminales de acceso del *software* Unicornio que es el sistema de gestión de libros utilizado por la biblioteca (véase figura 4.9, “**Zona Consultas**”), con el fin de buscar el ejemplar por su título en un servidor que contiene una base de datos donde residen los códigos de identificación de cada ejemplar; una vez obtenido el código, el usuario se dirige hacia las estaciones fijas (ver figura 4.9, “**Estaciones fijas F**”) donde el personal administrativo encargado de los préstamos pasa el carné del usuario por el lector de código de barras verificando la ficha del estudiante, de esta forma, se comprueba su respectivo orden, si existe su nombre y cédula en el sistema, si tiene multas o préstamos pendientes y si tiene reservas pendientes; una vez consultada la información pertinente, se confirma si se encuentra a paz y salvo con la biblioteca. Finalmente, se procede a ubicar el libro en los anaqueles gracias al proceso de identificación por RF y se pasa por uno de los **lectores RFID S6700** de las tres estaciones fijas disponibles, que inmediatamente

ingresa los datos del libro en la ficha del estudiante, registrando el préstamo. Como el sistema puede calcular el tiempo de préstamo del libro porque en la etiqueta también está almacenada la clase de ejemplar (reserva o circulación) a la que corresponde, se imprime automáticamente un volante que se le entrega al estudiante con la fecha en que debe devolver el libro. En el proceso coexisten dos tecnologías: código de barras para la identificación de carné y RFID para el préstamo y demás servicios.

4.2.4.2 Identificación

Cada sección de los anaqueles tiene un número correspondiente a los primeros tres dígitos del código Dewey de los libros que contiene, cuando la encargada del préstamo obtiene el código correspondiente al libro deseado, se dirige a la sección donde se encuentra el libro guiándose por los primeros 3 primeros dígitos del código, una vez allí escribe en el **lector móvil HF PA600** el código completo del libro y lo pasa de forma lenta por el anaquel correspondiente, dicho lector contiene en su memoria una base de datos con todos los códigos de los ejemplares de la biblioteca relacionados con la etiqueta que le corresponde a cada uno de ellos, cuando el lector ubica la etiqueta correspondiente al código que se ha digitado previamente muestra en su pantalla un mensaje indicando que ha encontrado el ejemplar, la encargada toma el libro que está justo frente a la antena del lector.

4.2.4.3 Devolución

El proceso de devolución de los ejemplares se lleva a cabo en la estación fija ubicada en la entrada de la biblioteca (véase figura 4.9, “**Antena Portal S y Zona de Devoluciones**”) donde se encuentra dos buzones donde los estudiantes pueden depositar todos los libros (véase figura 4.9, “**Buzón**”) hasta una hora antes de que se vuelvan a abrir las estaciones internas de préstamo porque en ese momento la encargada de la estación externa va a pasar el buzón móvil por la **antena portal S** que se encuentra ubicada a la entrada de la biblioteca, dicha antena hace la lectura múltiple de todas las etiquetas en el buzón e ingresa los datos de todos los libros devueltos de nuevo al sistema como disponibles.

Como todas las estaciones se encuentran conectadas al servidor por una red interna local WIFI a través de un enrutador inalámbrico de la figura 4.9 “**Router R**” la información ingresada tan bien aparece en las estaciones internas (“**Estaciones fijas F**”) de modo que el personal bibliotecario solo tienen que reubicar los libros para luego empezar de nuevo el proceso de préstamo.

4.2.4.4 Registro o inventario

El proceso de registro se hace de forma anual y consiste en un inventario total de todos los libros para conocer si todos los ejemplares que están en el sistema se encuentran en los anaqueles utilizando la identificación por RF, solo se procede a pasar el lector HF PA600 (véase figura 4.9 “**Lector M**”) lentamente por los anaqueles; gracias a la red WIFI este dispositivo puede conectarse a la red y comparar las lecturas en tiempo real con el servidor de base de datos, este proceso tomaría un menos de seis horas aproximadamente gracias a que los lectores pueden leer varias etiquetas a la vez, por tanto, el proceso es eficiente gracias a la capacidad de lectura múltiple del lector móvil. Si se requiere un inventario en menor cantidad de tiempo es preciso habilitar los lectores de las estaciones fijas usando el conversor de interfaz serial a una comunicación inalámbrica como lo muestra la figura 4.14.

4.2.4.5 Antihurto

Cuando un estudiante pasa por el pasillo formado por las antenas portal ANT1400/700-A y ANT1400/700-B con libros que no han sido registrados como prestados por las estaciones fijas, el

sistema produce una alarma, en la estación de la entrada aparecerá el nombre del ejemplar que iba a ser extraído de forma indebida de la biblioteca, el porcentaje de detección de el portal es muy elevado, los libros que han pasado por el proceso de préstamo de forma adecuada pasan por el portal y el sistema no produce alarma, solo registra en la pantalla que libro(s) esta(n) pasando por el portal.

5 ESPECIFICACIONES, RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES

A continuación se establecen las especificaciones y recomendaciones técnicas generales para el diseño de un sistema RFID en el entorno propuesto. Las consideraciones se definen con base en el marco conceptual propuesto desde diversos enfoques (estándares, parámetros físicos de los sistemas, selección de dispositivos, resultados presentados por las simulaciones) y las visitas realizadas a las instalaciones de la biblioteca José María Serrano determinaron las consideraciones finales de diseño.

5.1 ESPECIFICACIONES Y RECOMENDACIONES DE DISEÑO

El estudio global de la tecnología RFID concibió un conjunto de recomendaciones y especificaciones técnicas generales para tener en cuenta en el diseño:

5.1.1 Selección de la Frecuencia de Operación

Indiscutiblemente los sistemas de identificación por RF emiten ondas electromagnéticas para establecer su comunicación, en consecuencia se clasifican como sistemas de radio y ocupan un lugar del espectro radioeléctrico. Los principios de funcionamiento de los sistemas RFID difieren según la frecuencia establecida. Así, la elección idónea de la banda de frecuencia acorde con los requerimientos del diseño final determinan el tipo de acoplamiento, la distancia de lectura, el comportamiento frente a obstáculos, dimensiones de antenas, velocidad de transmisión, posibles interferencias con otros servicios de radio, y en general la eficiencia del sistema. Es claro que no existe una frecuencia universal para todo tipo de aplicaciones RFID.

Las bandas de frecuencia disponibles para el funcionamiento de sistemas RFID son clasificadas como bandas internacionales ISM. Para el escenario bibliotecario se adoptó el uso de la banda ISM de 13,56 MHz por sus características y ventajas. Los siguientes eventos justifican su elección:

- ❖ La frecuencia de 13,56 MHz no es una banda comercial, según el Ministerio de Comunicaciones Colombiano; en el cuadro nacional de atribución de bandas de frecuencia corresponde a la banda ICM (Industria, científico y Médica). La implementación de aplicaciones RFID en esta banda es posible siempre que no se perjudiquen los servicios de radio primario o secundario. Sin embargo, las interferencias generadas por los lectores y etiquetas son mínimas o nulas justamente por la distancia de trabajo.
- ❖ La banda de HF suele utilizar mecanismos de acoplamiento inductivo en la región de campo cercano predominantemente magnético para recibir energía (véase Anexo A numeral A.1.8). Los sistemas RFID que basan su funcionamiento en este acoplamiento limitan su rango de lectura debido a que su campo de radiación se centra alrededor de la fuente, sin embargo, el lector y el transpondedor no requieren de gran orientación como se estima en la figura 5.1. Además, los costos de implementación son relativamente bajos.
- ❖ La ISO y la EPC han desarrollado estándares internacionales basados en esta banda de frecuencia. Esto significa un inminente desarrollo de aplicaciones y dispositivos para los usuarios, actualmente es la banda más acogida.
- ❖ Las pérdidas de espacio libre (Friss) se incrementa con la frecuencia, provocando que la señal se atenúe, particularmente, a 13,56 MHz y a una distancia alrededor de 80 cm son despreciables.
- ❖ Los obstáculos o materiales entre el lector RF y los libros en las instalaciones de la biblioteca son: anaqueles metálicos, tejido humano, madera, vidrio, sin embargo, la longitud de onda

características para esta frecuencia es aproximadamente 22,2 m, capaz de penetrar la piel humana, el vidrio y la madera seca; además presenta un mejor comportamiento frente a objetos metálicos [25] comparado con las ondas de UHF y microondas.

- ❖ El Ministerio de Comunicaciones Colombiano aprueba el uso de la banda ISM (13,56 MHz) para aplicaciones RFID.

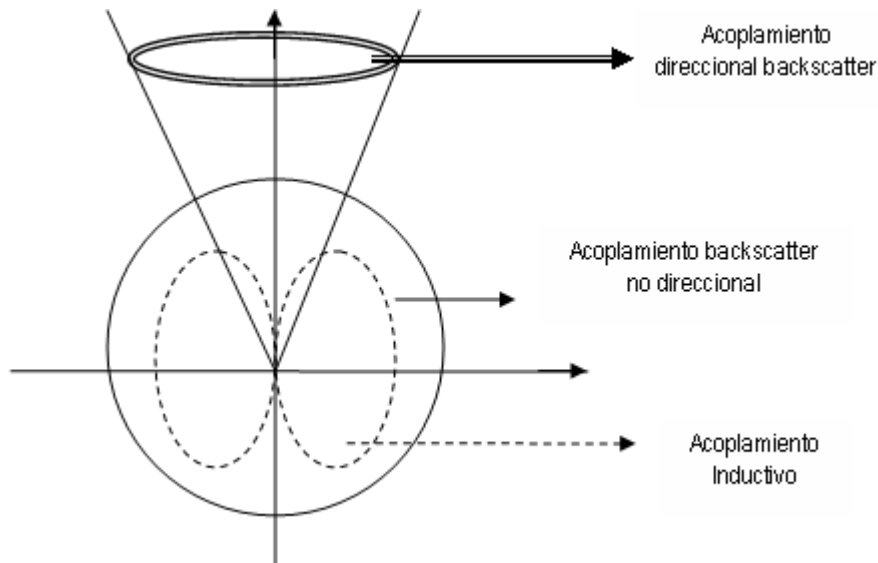


Figura 5.1. Mecanismos de acoplamiento [1]

5.1.2 Maximización del Factor de Calidad del Circuito Sintonizado

La evaluación de esta recomendación se realizó con base en la herramienta IISIM. Los resultados de la simulación demostraron que un incremento del factor de calidad Q , en efecto, extiende el rango de lectura y activación entre el lector y la etiqueta, debido al aumento del voltaje inducido. En el escenario de simulación 3 se incrementó el valor del Q en la etiqueta de 70 a 100, aumentando la distancia de activación de 72 a 96 cm. Si se eleva Q por encima de 100 genera efectos no deseables en el circuito resonante y por tanto durante la comunicación. A continuación se menciona algunas razones:

- ❖ La sintonización se torna crítica lo que implica la construcción de componentes pasivos (bobinas, condensadores y resistencias) muy estables en frecuencia y con tolerancia casi nula. Lo que implica altos costos, además son circuitos altamente selectivos y difíciles de diseñar.
- ❖ Se reduce el ancho de banda efectivamente, afectando la característica pasa banda del circuito lector o de la etiqueta.

Por tal razón, es necesario elegir un valor práctico de Q para evitar estos efectos indeseables; se recomienda para aplicaciones RFID seleccionar un valor Q para la etiqueta entre 40 y 90 si se desea conseguir rangos de lectura entre 40 y 100 cm para sistemas inductivos de alta frecuencia.

5.1.3 Selección de la Intensidad de Campo Magnético

La herramienta simuló tres escenarios donde se observó el comportamiento de la intensidad de campo relacionado con los límites de emisión establecidos por la ITU-R (80 -120 dB μ V/m) para la banda ICM²⁷. Particularmente, el ETSI regula el nivel de intensidad para sistemas RFID a 42 dB μ (A/m) a una distancia de 10 m de la antena del transmisor, para el continente Europeo; mientras que la intensidad según la FCC corresponde a 38 dB μ (A/m) a 30 m de distancia en Norte América, Colombia, aún no cuenta con una regulación estricta para la tecnología RFID inductiva en la banda de HF.

En la herramienta de simulación, el nivel de intensidad de campo determina: la magnitud del rango de activación y de lectura, la corriente de la antena, la potencia de salida del lector y el volumen magnético efectivo (véase numeral 3.3.2); un aumento de la intensidad genera una distancia de lectura considerable como lo demostró la herramienta, sin embargo, la elección de este parámetro implica un compromiso por las interferencias perjudiciales que pueden ocasionar a otros servicios de radio primarios o secundarios en la misma banda. Además, es necesario controlar el nivel de intensidad ya que el transpondedor debe soportar grandes cantidades de energía a distancia cercanas del lector debido a que se trabaja con sistemas resonantes con altos niveles de voltaje en la antena y de potencia en el transmisor.

El modelo general de simulación confirmó un rango de activación de 80 cm utilizando un nivel de intensidad de campo de 42 dB μ (A/m), junto con los parámetros restantes de configuración establecidos en dicho modelo, con este nivel de campo la etiqueta recibe la energía suficiente del lector para realizar su proceso de modulación y transmitir los datos a una distancia máxima. Si se utiliza el nivel de intensidad dado por la norma de la FCC a una distancia regulada de 30 m desde el transmisor, el rango de activación máximo se incrementa a 93 cm; la diferencia de distancias de activación corresponde básicamente al incremento de la distancia regulada para cada nivel de campo, porque la FCC limita la distancia a 30 m mientras que el ETSI a 10 m.

De este modo, para el entorno bibliotecario se recomienda utilizar la regulación Europea ETSI EN 300 330 que fija un nivel de campo de campo de 42 dB μ (A/m), o la norma de la FCC de 38 dB μ (A/m) para comunicaciones en la banda de HF; ambas normas satisfacen los límites establecidos por la ITU-R para aplicaciones ICM. La norma establecida por el ETSI ha sido ampliamente aceptada y acogida recientemente para el desarrollo de múltiples aplicaciones RFID; esta institución se ha preocupado por regular y armonizar el uso de dispositivos RF de corto alcance (SDR) en un rango de frecuencia de 9 KHz a 30 MHz.

5.1.4 Decrecimiento del Campo Magnético con el Cubo de la Distancia

Los resultados de la simulación confirman que el campo magnético (B) decrece con el cubo de la distancia ($1/r^3$) para sistemas inductivos en la región de campo cercano. Los diagramas de intensidad de campo magnético del lector presentan esta particularidad para cada escenario de simulación porque se radia en la región cercana donde predomina el campo magnético. Si el transpondedor se aparta de la fuente de emisión de RF (lector) el campo decrece rápidamente en proporción cúbica hasta alcanzar el máximo rango de activación, posteriormente el *tag* no estará en capacidad de modular los datos almacenados en la memoria del *chip*.

²⁷ La ITU-R proporciona los límites de radiación para las bandas ICM (Industria, Científica o Médica). El nivel de intensidad de campo eléctrico definido para la frecuencia de 13.56MHz es de 80 a 120 dB(μ V/m) a una distancia de 30m. Mayor información dirijase a la URL: <http://webs.uvigo.es/servicios/biblioteca/uit/rec/SM/Q-REC-SM.1056-1-200704-!!!PDF-E.pdf>

Si se incrementa la intensidad de campo respecto al nivel establecido de referencia por el ETSI la distancia de activación se extiende, sin embargo, se mantiene la misma relación de proporcionalidad lo que sugiere que la lectura de un libro etiquetado no debe apartarse abruptamente de la fuente de emisión porque su zona de interrogación se ve afectada por el descenso inmediato del nivel de campo como se estima en las figuras 3.2, 3.8, 3.13, 3.14. De este modo la potencia recibida por la etiqueta de RF decrece con la sexta potencia.

5.1.5 Selección del Rango de Activación y Lectura

Las pruebas realizadas en la biblioteca Serrano con el lector óptico fijo (symbol LS 2100) confirmaron que el rango de lectura promedio para las funciones de identificación y registro de un ejemplar corresponde a 11 cm; en algunas situaciones fue indispensable reducir la distancia o modificar el ángulo de lectura entre el código de barras y el lector dada la complejidad para identificar un ejemplar; la humedad, el desgaste, la impresión defectuosa y la ilegibilidad del código llevan a obtener lecturas confusas; asimismo, se presentaron casos donde fue inevitable pasar el lector de barras 2 o 3 veces consecutivas para identificar finalmente el libro.

En el cálculo de la distancia máxima de activación y de lectura intervienen ciertos parámetros de diseño como el factor de calidad, el nivel de intensidad, la frecuencia, la relación señal a ruido y la geometría de las antenas; la elección de la frecuencia de operación determina la región de campo (cercano o lejano), por lo tanto, es un factor que limita la distancia, al igual que las dimensiones de antena y el campo magnético que juegan un papel fundamental en el diseño.

Después de evaluar los servicios de identificación, préstamo e inventario de ejemplares ejecutados en la biblioteca Serrano, se concluye que la distancia de lectura óptima entre el lector y la etiqueta de RFID adherida al libro debe ser igual o menor a 80 cm, con el fin de satisfacer los servicios que presta la biblioteca a los usuarios.

Sin embargo, la reducción del rango de lectura es inevitable durante la ejecución de un inventario dado que los libros están organizados y distribuidos en anaqueles o estantes metálicos²⁸, bajo estas circunstancias, los fabricantes de dispositivos RFID suelen asumir un margen de 7 cm de la distancia total; por otra parte, efectos como múltiples reflexiones, acoplamientos electromagnéticos no deseados y absorciones de la señal en los materiales (escritorios, vidrios, madera etc.), son frecuentes en la biblioteca y modifican la distancia final de lectura. Los equipos seleccionados en el capítulo IV cumplen con el estándar ISO 15693, esto significa que la distancia máxima de lectura nominal es alrededor de 1 m según lo establecido en los reportes técnicos.

5.1.6 Selección de las dimensiones de la Antena del Transpondedor

La geometría de la antena bobina es un parámetro de diseño fundamental que interviene en el cálculo de la distancia de lectura y activación entre un transpondedor y una unidad lectora. En general, existen diversas configuraciones de antenas de acuerdo al tipo de aplicación, por ejemplo, en forma de espiral, anillo, rectangular o cuadrada.

²⁸ Si bien, la frecuencia de HF tiene mejor comportamiento frente a objetos metálicos, es inevitable las reflexiones de la onda en los objetos metálicos, en consecuencia, los proveedores y fabricantes de dispositivos RFID anuncian en sus hojas de datos la reducción del rango máximo de lectura, por lo general 7 a 10 cm.

El escenario 2 planteó una simulación donde se manipuló el tamaño de la antena del transpondedor; por defecto la herramienta IISIM asume una forma rectangular de antena. En efecto, el rango de activación descendió a la mitad cuando se redujeron las dimensiones de antena, en contraste con la distancia de activación obtenida cuando se realizó la simulación del modelo general. Sin embargo, un aumento sin límite de las dimensiones de antena disminuye la razón señal a ruido, recuperar la señal en el receptor puede hacerse complejo dado la magnitud de ruido captado; además, el campo magnético es capaz de exceder los límites legales de emisión y es posible que la antena sea físicamente irrealizable dada la relación entre las dimensiones del radiador y la inductancia.

La elección de la etiqueta óptima en el entorno bibliotecario, debe satisfacer las dimensiones y la geometría correcta para ser adherida a libro; se busca que el *tag* sea imperceptible para los usuarios y compatible con dispositivos fabricados por otros proveedores. Bajo estas circunstancias, se recomienda recurrir a etiquetas que cumplan la norma ISO 7810 (ID-1) o 7816²⁹. La figura 5.2 muestra el valor máximo del rango de activación general para tres configuraciones RFID acopladas inductivamente en función del factor de calidad y el tamaño del transpondedor.

5.1.7 Sintonización de los Circuitos LC a la Frecuencia Portadora del Lector

El rango máximo de activación y lectura se obtiene cuando la frecuencia de transmisión del lector está sintonizada con el circuito serie o paralelo resonante. El simulador IISIM permitió encontrar el rango de activación y lectura para tres casos particulares: el transpondedor sintonizado a la frecuencia portadora (0), el transpondedor sintonizado por debajo de la frecuencia portadora (-) y cuando se sintoniza por encima de la frecuencia portadora se observa que el máximo desempeño del sistema RFID se obtiene cuando el circuito se sintoniza muy cerca de la frecuencia portadora.

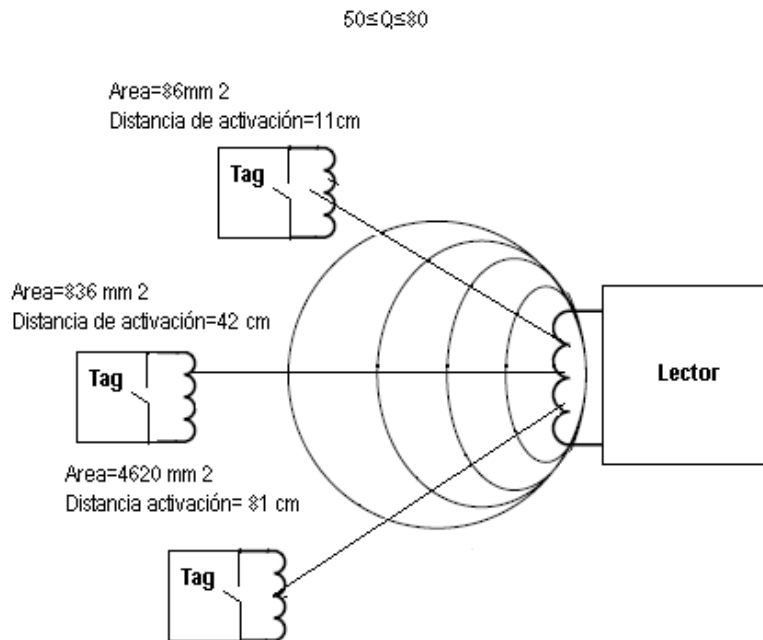


Figura 5.2. Distancia de activación en función de la sintonización.

²⁹ El estándar ISO 7816 es una extensión del ISO 7810 donde especifican además de las características físicas, el funcionamiento eléctrico, criptografía, etc.

5.1.8 Utilización de Técnicas de Anticolisión y Escritura

Los fabricantes de dispositivos RFID realizan esfuerzos por obtener etiquetas con características tecnológicas especiales buscando que los sistemas RFID sean más competitivos frente a otras tecnologías de identificación; por ejemplo, en la actualidad existen etiquetas que son capaces de soportar múltiples escrituras y métodos efectivos o algoritmos de anticolisión.

La ausencia de memoria o de un chip inteligente y la incapacidad de lectura múltiple de libros son inconvenientes que adolece la tecnología de barras; en contraste, el transpondedor RFID incorpora una memoria no volátil con mayor capacidad y algoritmos de anticolisión requeridos para mejorar el desempeño. [36].

5.1.9 Ruido AWGN y el Acoplamiento no Deseado

El ruido AWGN y el acoplamiento electromagnético no deseado son factores que afectan la transmisión de datos del *tag* y reducen la distancia máxima de lectura.. El acoplamiento electromagnético no deseado surge cuando el lector se acopla eventualmente con materiales o elementos diferentes, ocasionando desadaptación de impedancias entre el lector y la etiqueta.

Gracias a la herramienta WinIQSIM se analizó el comportamiento de la señal en el canal de comunicación con ruido de tipo AWGN. Primero se utilizó un canal ideal, luego se muestra la señal bajo un esquema ASK afectada por ruido AWGN. Se evaluó la razón energía de bit respecto a densidad de ruido (E_b/N_0) tomando un valor de E_b/N_0 de 15 dB con un ancho de banda 0,5 veces la frecuencia de símbolo, mejoró el comportamiento del sistema como lo confirma un diagrama de ojo más claro y un patrón de constelación con símbolos dispersos, aunque, conservando su zona o nivel de decisión.

Finalmente se incrementó el ancho de banda a 4 y 16 veces la frecuencia de símbolo lo que implicó un aumento de la potencia de ruido. Por lo tanto, debe existir un compromiso durante la selección del ancho de banda ya que un aumento involucra una potencia de ruido eléctrico mayor.

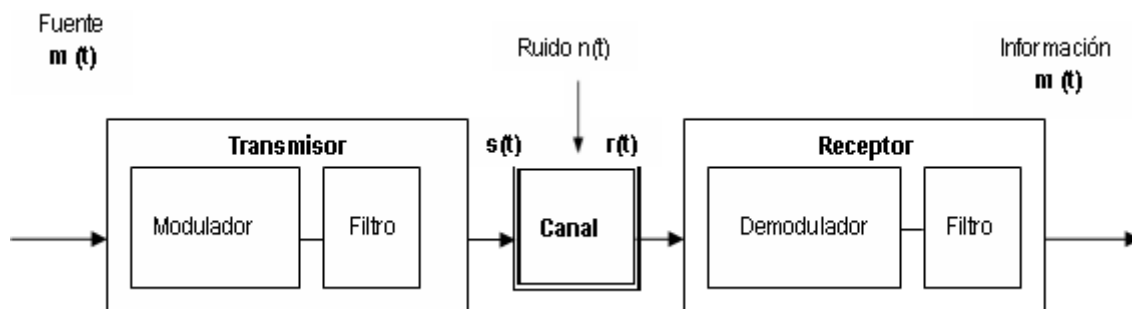


Figura 5.3. Representación de un sistema de comunicaciones digital.

5.1.10 Obstáculos entre el Lector y el Tag

Es frecuente encontrar en las instalaciones de la biblioteca elementos como hojas, vidrio, plástico, madera y tejido humano, estos materiales aislantes no son factores críticos durante la comunicación entre el lector y la antena de la etiqueta, ya que las ondas de radio son capaces de penetrarlos por su

baja conductividad eléctrica y su longitud de onda; en cambio materiales conductores como anaqueles o escritorios metálicos provocan pérdidas por efecto joule y reflexiones puesto que los electrones libres están en capacidad de absorber la energía de la onda.

Los materiales aislantes afectan en menor medida la comunicación frente a fenómenos de absorción y reflexión; los objetos cercanos al lector de RF son capaces de generar acoplamientos magnéticos indeseables que generan desadaptación de impedancias en los equipos y en consecuencia ondas estacionarias por eso en el diseño básico de un sistema inductivo se calculó teóricamente la profundidad de penetración para varios materiales teniendo en cuenta la permeabilidad y permitividad del material.

5.1.11 Orientación de la Antena del Transpondedor

La cantidad de energía recibida por el *tag* depende de la orientación relativa entre la antena del transpondedor y lector, es decir, la cantidad de flujo magnético máximo es determinado por la posición del transpondedor respecto a la fuente de emisión del lector; cuanto más líneas o cantidad de flujo magnético penetran la superficie de la etiqueta más energía es recibida por la bobina, sin embargo, cuando pocas líneas de fuerza penetran la antena es posible que el transpondedor no se energice y por lo tanto no module los datos.

Las ecuaciones A.18 y A.19 (véase anexo A numeral A.1.5.1) representan el flujo como producto punto de dos vectores. Si los dos vectores son perpendiculares entre sí el flujo recibido es mínimo, mientras que, si forman un ángulo de cero grados las líneas se maximizan y atraviesan intensamente la superficie, por lo tanto, la magnitud del voltaje inducido en el *tag* y la distancia de lectura son máximos consecuencia del flujo magnético óptimo. De este modo, la etiqueta debe ubicarse estratégicamente en el libro para que la mayor parte de la energía emitida por el lector se concentre en el *tag* de RF; esto se cumple siempre que la bobina del lector y el transpondedor sean paralelos entre sí como se aprecia en la figura 5.4. El anexo A muestra la figura A.10 y la configuración para alcanzar el voltaje máximo.

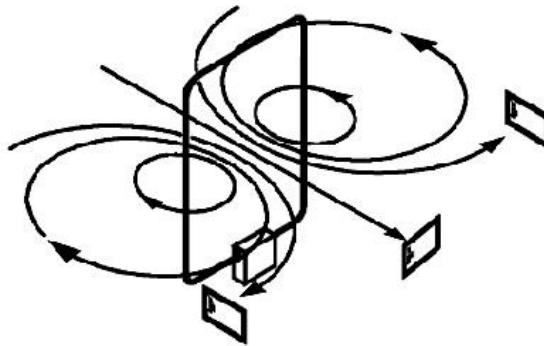


Figura 5.4. Acoplamiento óptimo entre antenas.

5.1.12 Variación del número de amperios vuelta

Aumentar el radio de la antena implica incrementar el rango de lectura logrando disminuir el número de amperios-vueltas requerido. Si se elige aumentar la distancia de lectura para el mismo radio de la bobina, el número requerido de amperios-vueltas aumenta considerablemente. Por ejemplo, una distancia de 65 cm, con campo de $1,5 \mu\text{Wb/m}$ y un radio de 8 cm, requieren de un poco más 100 amperios por vuelta.

Mientras que si se duplica el radio, el número de amperio-vueltas disminuye efectivamente; en consecuencia, es más eficaz aumentar el radio de la antena durante el diseño del circuito LC.

6 CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

6.1 CONCLUSIONES

Los organismos de regulación internacional (EPC e ISO) han introducido estándares globales para el funcionamiento de la tecnología RFID, no obstante, carecen de recomendaciones destinadas a la gestión final de bibliotecas.

La frecuencia de 13.56 MHz es la idónea por sus características para aplicaciones en bibliotecas. Aunque es limitada en distancia los procesos de préstamo e inventario no requieren de una distancia mayor a 60 cm. Además, por su longitud de onda tiene un mejor comportamiento frente a obstáculos y una tasa de lectura de 40 a 50 etiquetas simultáneamente.

Es importante elegir etiquetas que cumplan con la norma ISO 7810 (ID-1) o 7816 (dimensiones físicas son 85.6 mm x 53.98 mm) ya que son las más apropiadas para adherirse a un ejemplar de forma cómoda e imperceptible y tienen un rango de lectura óptimo para la aplicación.

Cuando se incrementa el factor de calidad, la inductancia o las dimensiones de antena; implica un rango de lectura mayor siempre que la sintonización entre la señal portadora y el circuito sea apropiada (circuitos resonante sintonizado con la frecuencia portadora), de lo contrario, no será posible alcanzar el valor óptimo para la transmisión

Es recomendable utilizar etiquetas con características de anticollisión como el aloha ranurado, para que el lector sea capaz de identificar alrededor de 50 unidades de forma simultánea ya que diariamente a la biblioteca retornan un promedio de 100 libros

Dentro de un entorno cerrado las fuentes de ruido generadas por el ambiente son despreciables; además por el bajo nivel de intensidad de campo que manejan los dispositivos RFID, las interferencias en la misma banda causadas a otros servicios de RF son mínimas.

Cuando se implementa una nueva tecnología con el fin de mejorar un servicio, reemplazando otra que ha estado vigente por varios años, el cambio es un proceso complicado tanto para los usuarios como para los encargados de administrarla, por esta razón, para hacer mas sencilla la apropiación de la tecnología RFID en la biblioteca José María Serrano se propone inicialmente la coexistencia de las dos tecnologías en un sector reducido de la biblioteca.

Es importante cuando se escogen los dispositivos adecuados para una aplicación tener en cuenta las posibilidades de expansión de la misma, por esta razón se seleccionan dispositivos que soporten aplicaciones mas robustas.

Es de vital importancia analizar, además de los aspectos técnicos de una aplicación para identificación por RF, las condiciones del entorno donde se va a llevar a cabo la implementación y los obstáculos que podrían generar pérdidas de información, con el fin de hacer un diseño adecuado.

6.2 TRABAJOS FUTUROS

Implementar el sistema RFID en la biblioteca utilizando los dispositivos seleccionados con el fin de agilizar los servicios de préstamo, registro e inventario que actualmente presta la biblioteca Jose Maria Serrano de la Universidad del Cauca.

El diseño del sistema utilizando tecnología RFID sería mejorado utilizando carnets de identificación con etiquetas de RF; esto supone una mayor eficiencia durante el préstamo de libros; de este modo sería necesario el cambio de los carnets que utilizan actualmente los estudiantes y profesores con tecnología de código de barras por sistemas RFID. Con esto es posible la implementación de otros servicios como el autopréstamo de libros.

Evaluar las ventajas y desventajas de la tecnología RFID en las bandas de HF o UHF para la identificación de libros en la biblioteca Jose Maria Serrano. De esta forma se busca comparar los parámetros fundamentales de diseño como: distancia de lectura, niveles de intensidad de campo, efectos de ruido e interferencias sobre la señal proveniente del lector y la etiqueta, y los obstáculos (metales, madera, vidrio, etc.) que afectarían el la comunicación para cada banda de frecuencia.

Estudio y análisis de las colisiones en los sistemas RFID pasivo en la banda de UHF o HF utilizando alguna herramienta de simulación de redes basado en los algoritmos de árbol, bajo el estándar de la EPCglobal o ISO 18000.

9 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] GS1Panama. La Etiqueta Logística EAN/UCC. [Formato PDF]. Panamá. Disponible: <http://www.gs1pa.org/biblioteca/downloads/EAN128.pdf> (Consulta: 2 Marzo, 2009)
- [2] FINKENZELLER, Klaus. RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification. 2a ed. Alemania: John Wiley & Sons, 2004. p. 1 -148, p. 161-348.
- [3] SWEENEY, Patrick J. RFID For Dummies. EEUU: Wiley Publishing, 2005. 333p.
- [4] The History of RFID Technology. JOURNAL. [En línea: <http://www.rfidjournal.com/article/view/1338/1/129> (Consulta: 15 de Enero 2008)
- [5] RFID MAGAZINE. Tecnología RFID: Introducción. [Formato pdf]. España: 2005. http://www.rfid-magazine.com/_images/262/RFID_introduccion.pdf (Consulta: 2 Febrero, 2007).
- [6] BROWN, Dennis E. RFID Implementation. [En línea] 1a ed. EEUU: McGraw Hill, 2006. <http://books.google.es/books?id=njE3Afoe4ZYC&pg=PA12&dq=rfid+RF&lr=#PPP1> (Consulta: 14 Febrero, 2009).
- [7] GARCIA PORTILLO, Javier; NIETO BERMEJO, Ana B. y BERNARDOS, Ana M. Tecnología de Identificación por radiofrecuencia (RFID): Aplicaciones en el ámbito de la salud. [Formato pdf] Madrid: Fundación Madrid para el conocimiento 2008. <http://www.madrimasd.org/informacionidi/biblioteca/Publicacion/Vigilancia-tecnologica/default.asp> (Consulta: 19 de Noviembre, 2008).
- [8] Página oficial del Grupo Condor S.A. RFID – EPC, Qué es?. Grupo Condor. Disponible en: http://www.grupo-condor.net/rfid/que_es.htm. Última Consulta Mayo de 2007
- [9] FERNANDEZ, Sadot A., RODRÍGUEZ, Carlos, MUÑOZ José. [Formato pdf]. Madrid. RFID: La tecnología de Identificación por radiofrecuencia,. Documento pdf. Disponible en: http://www.ica.es/contenidos/publicaciones/anales_get.php?id=1211. (Consulta: 2 Julio, 2008)
- [10] HITACHI. RFID mu-chi products. [En línea]. Disponible en: <http://hitachi.ca/Apps/hitachicanada/content.jsp?page=forbus/security/mu-chip/index.html&path=jsp/hcl/hcl/en/>. (Consulta: Junio del 2007).
- [11] TELETRÓNICA. Introducción a la identificación por Radio Frecuencia. 1a ed. Argentina, Buenos Aires. 2007. p.1-133.
- [12] BLAKE, Roy. Sistemas Electrónicos de Comunicaciones. 2a ed. México: THOMSON, 2004. 100p.
- [13] SYED, Ahson y MOHAMMAD, Ilyas. RFID Handbook: Applications, Technology, Security and Privacy. [En línea]. EEUU: CRC Press, 2008. <http://books.google.es/books?id=q4aCyZnq0cwC&printsec=frontcover> (Consulta: 15 de Febrero, 2009).
- [14] BAO RFID. Understanding RFID. [Formato pdf]. www.rfdesign.com (Consulta: 17 Septiembre, 2008).
- [15] Wikipedia. ISO 7810. [En línea]. http://en.wikipedia.org/wiki/ISO_7810 (Consulta: 17 Septiembre, 2008).

- [16] RFID MAGAZINE. EPC UHF Clase I Generación 2. [Formato pdf]. Madrid: 2005. http://www.rfid-magazine.com/_images/229/Guia_Generacion_2.pdf (Consulta: 15 de marzo, 2009).
- [17] YOUBOK, Lee. MCRF 355/360 Applications. [En línea]. EEUU: 2003. Disponible en: http://www.digchip.com/datasheets/parts/datasheet/295/MCRF355_360.php (Consultado: 19 Enero, 2008)
- [18] NIKITIN, Pavel, K. V. S., Rao, y LAZAR, Steve. An Overview of Near Field UHF RFID. [Formato pdf]. EEUU: IEEE, 2007, http://www.ee.washington.edu/faculty/nikitin_pavel/papers/RFID_2007.pdf (Consulta: 18 de Septiembre, 2008).
- [19] BUSTIO, Julia. SISTEMAS DE IDENTIFICACIÓN Y CONTROL AUTOMÁTICO (II). [En línea]. Madrid: Marcombo, 1999. Disponible en: <http://books.google.com/books?id=nGgmObQH2r0C&printsec=frontcover&dq=sistemas+de+identificacion+automatica&hl=es#PPP1,M1> (Consulta Febrero 15, 2008)
- [20] SEIDEMAN, Tony. Barcode History. [On line]. New York: Barcoding, 2003. Disponible: http://www.barcoding.com/information/barcode_history.shtml (Consulta: 16 de Abril 2008)
- [21] GS1Panama. La Etiqueta Logística EAN/UCC. [Formato PDF]. Panamá. Disponible: <http://www.gs1pa.org/biblioteca/downloads/EAN128.pdf> (Consulta: 2 Marzo, 2009)
- [22] SALGADO, Cesar. Los sistemas Automáticos de Identificación. Disponible en: <http://www.azc.uam.mx/publicaciones/enlinea2/num1/1-1.htm>
- [24] SEARZ, Francis, ZEMANSKY, Mark, FREEDMAN, Roger A, YOUNG, Hugo D. 11a ed. FISICA UNIVERSITARIA CON FISICA MODERNA VOL II. Mexico: Prantice Hall, 2005.p. 792 – 1214
- [25] CRISTOBAL, Julio. FISICA ELECTROMAGNETISMO. Malaga.p 1 – 21.
- [26] WIKIPEDIA. LEY DE BIOT SAVART. Disponible. http://es.wikipedia.org/wiki/Ley_de_Biot-Savart (Consulta: 10 Marzo, 2009).
- [27] YOUBOOK, Lee. RFID Coil Design. Notes RFID. EEUU: Microchip, 2003. Vol: 710 (2003); 1-17.
- [28] WAPEDIA. Polarización. http://wapedia.mobi/es/Polarizaci%C3%B3n_electromagn%C3%A9tica (Consulta: 30 de Noviembre 2008).
- [29] DÚRAN, Elías. PRACTICAS DE MODULACIÓN DIGITAL CON EQUIPO DE RADIOFRECUENCIA. [Formato pdf]. Costa Rica: Universidad de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Eléctrica, 2005. <http://www.eie.ucr.ac.cr/uploads/file/proybach/pb0547r.pdf> (Consulta: 19 de Noviembre 2008).
- [30] BALTASAR DOMÍNGUEZ, Álvaro. Generación de señales de radiofrecuencia arbitrarias. [Formato pdf]. España, 2006. (Consulta: 3 Agosto 2008).
- [31] RIOJA, Inmaculada. Tema2: Transmisión Digital Banda Base. [Formato pdf]. <http://aholab.ehu.es/~inma/psc/tema2.pdf>
- [32] DIAZ, Jorge L. PROCESAMIENTO DE LA SEÑAL DE HABLA. [Formato pdf]. Madrid: Escuela de Informática. 2007. URL: <http://jorge.sistemasyservidores.com/topicosiii-2007ii/clases/pshh.pdf>. (Abril, 2009)

- [33] BATEMAN, Andy. Comunicaciones Digitales. [en línea]. Marcombo. 2003: URL: http://books.google.com.co/books?id=DDLvSzM_hecC (Consulta: 4 de Febrero, 2009)
- [34] TEXAS INSTRUMENT. READER SERIE 4100. ISO 15693 library Reference Guide.
- [35] BIBLIOTECAS UNIVERSIDAD DEL CAUCA. Biblioteca Central José Maria Serrano [en línea]. Disponible en: <http://biblio.unicauca.edu.co/Bibliotecas/biblioteca.php?idbiblio=1> (última consulta mayo 2009).
- [36] COLECCIÓN BIBLIOTECAS. [En línea]. Disponible en: <http://biblio.unicauca.edu.co/Bibliotecas/coleccion.php> (ultima consulta mayo 20.09)
- [37] FUENTES SANCHEZ, Marinilda. Sistema de Clasificación Dewey. Programa de Destrezas de información. Junio 2005.
- [38] Estadística de préstamos por biblioteca [en línea]. 2008. Disponible en: <http://biblio.unicauca.edu.co/Estadistica/biblioteca.php>, (Última visita mayo 2009).
- [39] SENSORMATIC [Formato en línea] disponible en: http://www.sensormatic.com/products/eas/DetectionSystems/DetectionSystems_home.aspx, (Última visita mayo 2009).
- [40] HOT SHOOT LS 2100[pdf]. Disponible en: <http://www.temasolutions.com/LS2100.pdf> (ultima consulta: abril 2009).
- [41] SYMBOL LS4278 [formato pdf]. Disponible en: http://www.andrewssoftware.com/PDF/LS4278_spec.pdf.
- [42] Tag-it HF-I PLUS TRANSPONDER INLAYS LARGE RECTANGLE.[pdf].Disponible en: <http://focus.ti.com/lit/ds/symlink/ri-i02-112a-03.pdf>.
- [43] Tag-it HF-I PLUS TRANSPONDER IC. REFERENCE GUIDE [pdf]. Disponible en: <http://focus.tij.co.jp/jp/lit/ug/scbu046/scbu046.pdf>.
- [44] HF Reader System Series 6000 S6700 Multi-Protocol Transceiver IC.[pdf]. Disponible en: http://www.ecs.umass.edu/ece/sdp/sdp05/Gao/docs/ri-r6c-001a_datasheet.pdf.
- [45] HF Reader System Series 6000 S6700 Multi Protocol Transceiver IC RI-R6C-001A [pdf]. Disponible en: <http://focus.ti.com/lit/ug/scbu030/scbu030.pdf>.
- [46] HF Reader System Series 6000. Gate Antenna.RI-ANT_T031A. [pdf]. Disponible en: <http://www.ti.com/rfid/docs/manuals/refmanuals/RI-ANT-T01ArefGuide.pdf>.
- [47] Unitech PA600 Mobile Reader.[Formato pdf].Disponible en: http://www.eutronix.eu/userfiles/PA600-HF-F_REVC.pdf.
- [48] Advanced Reader Technologies. Long-range reader ID ISC.LR200-x. [Formato pdf]. Disponible en: http://acg-id.aaitg.com/fileadmin/acg_id/products/readers/third_party/13_56_readers/ID_ISC_LR200.pdf.
- [49] Advanced Reader Technologies. Long Range Antennas. [Formato pdf]. Disponible en: <http://www.asksolutions.com.mx/RR-IDISC-ANT14-7.pdf>.

[50] HWI group. República Checa. [En línea]. EZL 300WiFi Converter RS 232. Disponible en: http://www.hp-group.com/products/sollae/ezl300w_lite_en.html

[51] DAWES, Chester L. Electricidad Industrial. [En línea]. Edición 2. Editorial: Reverte ,1989. Disponible en: <http://books.google.com.co/> 1

[52] DAWES, Chester L. Electricidad Industrial. [En línea]. Edición 2. Editorial: Reverte ,1989. Disponible en: <http://books.google.com.co/> 1

[53] CHENG, David K, PEAKE Ernesto, SEBASTIÁN, José L. Fundamentos de electromagnetismo para ingeniería. [EN línea. Editorial: Pearson Educación, 1997. Disponible en: <http://books.google.com.co/books?id=8aipFzSCKnkC>. Consultado: 2 de junio de 2009.

