



**SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES**

TEMA:

**Diseño de una etiqueta pasiva sin chip para aplicaciones
RFID en UWB**

AUTOR:

Castillo del Pezo, Efrén Antonio

**Trabajo de titulación previo a la obtención del grado de
Magister en Telecomunicaciones**

TUTOR:

Córdova Rivadeneira, Luis Silvio, MSc.

Guayaquil, a los 31 días del mes enero año 2018



**SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES**

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por Castillo del Pezo Efrén Antonio, como requerimiento parcial para la obtención del Título de Magíster en Telecomunicaciones.

TUTOR

Córdova Rivadeneira, Luis Silvio, MSc.

DIRECTOR DEL PROGRAMA

Romero Paz, Manuel Msc.

Guayaquil, a los 31 días del mes enero año 2018



**SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

YO, Castillo del Pezo Efrén Antonio

DECLARO QUE:

El trabajo de Titulación “**Diseño de una etiqueta pasiva sin chip para aplicaciones RFID en UWB**”, previa a la obtención del Título de **Magíster en Telecomunicaciones**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 31 días del mes enero año 2018

EL AUTOR

Castillo del Pezo Efrén Antonio



**SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES**

AUTORIZACIÓN

Yo, Castillo del Pezo Efrén Antonio

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación**, en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **“Diseño de una etiqueta pasiva sin chip para aplicaciones RFID en UWB”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 31 días del mes enero año 2018

EL AUTOR

Castillo del Pezo Efrén Antonio

REPORTE URKUND

The screenshot displays the URKUND web interface. The top navigation bar includes the URKUND logo and a 'Lista de fuentes' (List of sources) section. The main content area shows document metadata:

- Documento:** [T1118v.docx](#) (034472438)
- Presentado:** 2018-01-08 18:54:45 (UTC)
- Presentado por:** orlando.palica_2@hotmail.com
- Recibido:** orlando.palica.ucsg@analysis.orkund.com
- Mensaje:** tesis Castillo del Pozo [Verificar el mensaje completo](#)

Below the metadata, a green icon indicates that 30 pages of text were compared against 0 sources. The 'Lista de fuentes' panel on the right lists several sources, including 'TESIS.docx', 'http://electronic.lee.org.uk/ami/Details.aspx?article=031173d5ee07Product...', and 'http://www.it.com/white-paper/438/en/'.

The main document content is displayed below the interface, showing the following text:

SISTEMA DE POSGRADO MAESTRIA EN TELECOMUNICACIONES

TEMA:

Diseño de una etiqueta pasiva de chip para aplicaciones RFID en UWB

AUTOR: Castillo del Pozo Efran Antonio

Trabajo de titulación previo a la obtención del grado de Magister en Telecomunicaciones

TUTOR: Córdova Rivadeneira, Luis Sibón, MSc

Guayaquil, a los 29 días del mes noviembre año 2017

SISTEMA DE POSGRADO MAESTRIA EN TELECOMUNICACIONES

CERTIFICACIÓN: Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por Castillo del Pozo Efran Antonio, como requisito parcial para la obtención del Título de Magister en

At the bottom of the screenshot, a taskbar shows the Windows operating system with various application icons and a system tray displaying the date and time (12:04 10/01/2018).

Dedicatoria

Dedico de manera especial a mis padres pues ellos fueron los cimientos para la construcción de mi vida personal y profesional, sentando en mí, las bases de responsabilidad y deseos de superación; en ellos tengo el espejo en el cual me quiero reflejar pues aunado sus virtudes y gran corazón me llevaron a seguir adelante, a mi esposa que con su amor y apoyo estuvo junto a mí en todo momento animándome a seguir en esta meta trazada, y a mis hijos que sacrificaron su tiempo para permitirme superarme profesionalmente.

Agradecimientos

A los catedráticos de la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo de la Universidad Católica Santiago de Guayaquil y de la Universidad de Oriente, quienes se tomaron el arduo trabajo de transmitirnos sus diversos conocimientos, a las autoridades quienes siempre tuvieron sus puertas abiertas para el diálogo.

Agradecimiento también a los amigos que siempre estuvieron ahí para alentarnos con sus experiencias y ocurrencias, no dejándonos desmayar para alcanzar nuestros objetivos.



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

CORDOVA RIVADENEIRA LUIS SILVIO
TUTOR

f. _____

PHILCO ASQUI, ORLANDO LUIS
REVISOR

f. _____

BOHORQUEZ ESCOBAR, CELSO BAYARDO
REVISOR

f. _____

ROMERO PAZ MANUEL DE JESÚS
DIRECTOR DEL PROGRAMA

RESUMEN

En el presente trabajo se propone el diseño de una etiqueta pasiva sin chip para aplicaciones de Identificación por Radiofrecuencia (RFID) en Ultra Banda Ancha (UWB). En el Capítulo 1 se aborda la teoría de las antenas de microcintas y sus especificaciones de diseño en banda ancha. En el Capítulo 2 se esbozan los fundamentos de la Identificación por Radiofrecuencia, su utilización en aplicaciones de UWB y se explican el uso de la identificación espectral en esta tecnología. En el Capítulo 3 se propone el diseño de la etiqueta; se simulan individualmente las antenas receptora y transmisora, junto a las ranuras en el plano tierra y en el elemento radiante para obtener la firma espectral, en el intervalo de 3,1 a 10,7 GHz. Este trabajo es exploratorio al explorar las características de una etiqueta pasiva sin chip para aplicaciones RFID en UWB y es descriptivo al analizar y evaluar las tecnologías para implementar estos sistemas y determinar los parámetros óptimos según sus necesidades. Se aplica el paradigma empírico-analítico y un enfoque cuantitativo al emplear cálculos matemáticos en el diseño. Esta investigación es experimental porque se alteran las variables aplicadas para realizar el análisis respectivo.

Palabras clave: RFID, UWB, firma espectral.

ABSTRACT

In the present work we propose the design of a passive tag without a chip for Radio Frequency Identification (RFID) applications in Ultra Broadband (UWB). Chapter 1 discusses the theory of microstrip antennas and their broadband design specifications. Chapter 2 outlines the fundamentals of Radio Frequency Identification, its use in UWB applications and explains the use of spectral identification in this technology. In Chapter 3, the design of the label is proposed; the receiving and transmitting antennas are simulated individually, together with the grooves in the ground plane and in the radiating element to obtain the spectral signature, in the range of 3.1 to 10.7 GHz. This work is exploratory when exploring the characteristics of a passive tag without chip for RFID applications in UWB and is descriptive when analyzing and evaluating the technologies to implement these systems and determine the optimal parameters according to their needs. The empirical-analytical paradigm and a quantitative approach are applied when using mathematical calculations in the design. This research is experimental because the applied variables are altered to perform the respective analysis.

Keywords: *RFID, UWB, phase shift.*

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	4
CAPITULO 1. Fundamentos teóricos de las antenas	10
1.1 Parámetros básicos de las antenas	10
1.1.1 Patrón de radiación	10
1.1.2 Impedancia de entrada.....	12
1.1.3 Directividad	13
1.1.4 Ganancia.....	14
1.1.5 Eficiencia.....	15
1.1.6 Resistencia de Radiación.....	16
1.1.7 Ancho de banda	16
1.1.8 Razón de onda estacionaria.....	17
1.2 Antenas de microcintas.....	18
1.2.1 Estructuras y características	18
1.2.2 Métodos de análisis.....	19
1.2.3 Geometría del parche.....	25
1.2.4 Métodos de alimentación.....	26
1.2.5 Ventajas y desventajas	30
1.3 Antenas de banda ancha	31
1.3.1 Monopolo de <i>ultra wide band</i> (UWB).....	31
1.3.2 Diseño del elemento radiante	32
1.4 Antena ranurada	34
CAPITULO 2. Sistemas de Identificación por Radiofrecuencia.....	35
2.2 Tecnología de los sistemas de RFID.	35
2.1 Factores que afectan la zona de interrogación	37
2.2 Clasificación de los sistemas RFID	40
2.2.1 Sistema RFID activo.....	40
2.2.2 Sistema RFID semi-activo	41
2.2.3 Sistema RFID pasivo.....	41
2.4 Etiquetas de RFID pasivas con chip	42

2.4.1 Principio de trabajo de los sistemas con etiquetas pasivas con chip.....	43
2.4.2 Lector del sistema RFID etiquetas con chip.....	44
2.4.4 Antenas de las etiquetas en el sistema de RFID pasivo.	50
2.5 Etiquetas pasivas sin chip	52
2.5.1 Especificaciones para sistemas pasivos chipless RFID	52
2.5.2 Clasificación de las etiquetas pasivas sin chip (<i>chipless</i> RFID). 54	
2.5.3 Codificación espectral	56
2.5.4 Lector para etiquetas pasivas sin chip.....	61
CAPITULO 3. Diseño y simulación de una etiqueta pasiva de RFID sin chip en UWB	64
3.1 Diseño y simulación de la antena receptora.....	64
3.1.1 Pérdidas de Retorno	66
3.1.2 Ganancia.....	67
3.2 Diseño y simulación de la antena transmisora	68
3.2.1 Diseño del sistema de identificación.....	68
3.2.2 Ganancia.....	75
3.2.3 Impedancia de entrada.....	77
3.3 Codificación espectral.....	78
3.4 Proceso de decodificación	80
Conclusiones	81
Recomendaciones	82
Referencias bibliográficas.....	83

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA I. ETIQUETAS REPORTADAS	7
TABLA 1.2. ECUACIONES DE DISEÑO DEL PARCHE CIRCULAR.....	33
TABLA 2.1. COMPARACIÓN ENTRE ETIQUETAS ACTIVAS Y PASIVAS.....	43
TABLA 3.1. DIMENSIONES FINALES DE DISEÑO.....	66
TABLA 3.2. DIMENSIONES DE LOS RESONADORES.....	70
TABLA 3.3. ESPECIFICACIONES EN EL DISEÑO DE LOS RESONADORES.....	71
TABLA 3.4. FRECUENCIAS DE RESONANCIA DE LAS 4 RANURAS EN EL DISCO Y LOS 2 RESONADORES EN PLANO TIERRA, POR SEPARADO.....	73
TABLA 3.5. FRECUENCIAS DE RESONANCIA DE LA ANTENA TRASMISORA.....	73
TABLA 3.6. VALORES DE LA IMPEDANCIA DE ENTRADA DE LA ANTENA RECEPTORA.....	78
TABLA 3.7. FRECUENCIAS PARTICULARES PARA LA DECODIFICACIÓN DE LA SEÑAL RECIBIDA	80

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1. DIAGRAMA DE RADIACIÓN EN 2D Y 3D.....	11
FIGURA 1.2. LÓBULOS EN EL PATRÓN DE RADIACIÓN.....	12
FIGURA 1.3. ANTENA EN MODO TRANSMISIÓN Y EQUIVALENTE DE THEVENIN.....	13
FIGURA 1.4. DIRECTIVIDAD DE UNA ANTENA	14
FIGURA 1.5. POTENCIA DE ALIMENTACIÓN Y POTENCIA RADIADA DE UNA ANTENA.....	16
FIGURA 1.6. CIRCUITOS DE DOS PUERTOS MEDIANTE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN.	18
FIGURA 1.7. ELEMENTOS DEL PARCHES DE MICROCINTAS.	19
FIGURA 1.8. MODELO DE LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN DE UNA ANTENA.	20
FIGURA 1.9. DESBORDAMIENTO DE CAMPO ELÉCTRICO EN ANTENAS DE PARCHES.	21
FIGURA 1.10. VISTA SUPERIOR.....	22
FIGURA 1.11. VISTA LATERAL.....	22
FIGURA 1.12. CORRIENTES SOBRE EL CONDUCTOR	24
FIGURA 1.13. PAREDES MAGNÉTICAS Y ELÉCTRICAS.....	25
FIGURA 1.14. GEOMETRÍA DE LOS PARCHES DE MICROCINTA	26
FIGURA 1.15. ALIMENTACIÓN POR LÍNEA DE MICROCINTA.....	27
FIGURA 1.16. ANTENA PARCHES CON ALIMENTACIÓN POR CONECTOR COAXIAL ..	28
FIGURA 1.17. ESQUEMA DE ALIMENTACIÓN CON ACOPLADO POR RANURA	29
FIGURA 1.18. ANTENA DE MICROCINTA ALIMENTADA POR PROXIMIDAD.....	30
FIGURA 1.19 MONOPOLO UWB DE PARCHES CIRCULAR.....	32
FIGURA 1.20 PRINCIPIO DE OPERACIÓN DEL MONOPOLO CIRCULAR DE UWB....	32
FIGURA 1.21 PARCHES CIRCULAR.....	33
FIGURA 1.21 MONOPOLO CIRCULAR UWB RANURADA	34
FIGURA 2.1.SISTEMA DE RFID GENÉRICO	36
FIGURA 2.2 A) ABSORCIÓN POR LÍQUIDOS. B) BLOQUEO POR BOBINAS DE CABLES. C) REFLEXIÓN SOBRE EL METAL	38
FIGURA. 2.3 ESQUEMA DE UN SISTEMA RFID ACTIVO.....	40
FIGURA 2.4. ESQUEMA DE UN SISTEMA RFID SEMI-ACTIVO.....	41
FIGURA 2.5. ESQUEMA DE UN SISTEMA RFID PASIVO.....	42

FIGURA 2.6. ESQUEMA DEL PRINCIPIO DE OPERACIÓN DE UN SISTEMA RFID CON ETIQUETA PASIVA	44
FIGURA 2.7. INTERCAMBIO DE DATOS ENTRE LA ETIQUETA Y EL LECTOR.....	44
FIGURA 2.8. MODELO MAESTRO-ESCLAVO	45
FIGURA 2.9. DIAGRAMA EN BLOQUE DE UN LECTOR RFID.....	45
FIGURA 2.10. DIAGRAMA EN BLOQUE DE LA SECCIÓN DE CONTROL.....	46
FIGURA 2.11. DIAGRAMA EN BLOQUE DE LA SECCIÓN DE RF DE UN LECTOR	46
FIGURA. 2.12. EJEMPLOS DE ANTENAS DEL LECTOR. A) ANTENA SYMBOL DIRECCIONAL DUAL B) ANTENA INDUSTRIAL SYMBOL DE ALTO DESEMPEÑO	48
FIGURA 2.13. CONFIGURACIÓN DE ANTENAS DEL LECTOR. A) CINTA TRANSPORTADORA. B) PORTAL.....	48
FIGURA 2.14. POLARIZACIÓN DE LA ANTENA. A) LINEAL. B) CIRCULAR.....	49
FIGURA 2.15. UBICACIÓN ADECUADA DE LA ETIQUETA PASIVA DE RFID	51
FIGURA. 2.16. ORIENTACIÓN ADECUADA DE LA ANTENA DE LA ETIQUETA PASIVA DE RFID	51
FIGURA 2.17. CLASIFICACIÓN DE LAS ETIQUETAS RFID PASIVAS.....	55
FIGURA 2.18. RESPUESTA EN FRECUENCIA. A) SEÑAL DE INTERROGACIÓN MULTIFRECUENCIA (EIRP = 10DBM), B) SEÑAL TRANSMITIDA POR EL TAG CON ID 01010, C) SEÑAL TRANSMITIDA POR EL TAG CON 101000.....	58
FIGURA 2.19. RESPUESTA EN FRECUENCIA DE ALGUNAS ETIQUETAS	59
FIGURA 2.20. RESPUESTA EN FRECUENCIA DE ALGUNAS ETIQUETAS	60
FIGURA 2.21. RESPUESTA EN FRECUENCIA DE ALGUNAS ETIQUETAS	60
FIGURA 2.22. DIAGRAMA EN BLOQUES DE UN LECTOR DE RFID PASIVO.....	62
FIGURA 2.23. DIAGRAMA EN BLOQUES DEL TRANSCPTOR DE UN LECTOR RFID PASIVO.....	63
FIGURA 3.1. ETIQUETA PASIVA SIN CHIP PROPUESTA.....	64
FIGURA 3.2. DISEÑO DE LA ANTENA RECEPTORA DE BANDA ANCHA.....	65
FIGURA 3.3. RESPUESTA EN FRECUENCIA DE LA ANTENA RECEPTORA.....	67
FIGURA 3.4. GANANCIA TOTAL DE LA ANTENA RECEPTORA.....	67
FIGURA 3.5. DIRECTIVIDAD DE LA ANTENA RECEPTORA.	68
FIGURA 3.6. ANTENA TRANSMISORA.....	69

FIGURA 3.7. ESPECIFICACIONES EN EL DISEÑO DE LOS RESONADORES.....	70
FIGURA 3.8. RESPUESTA EN FRECUENCIA DE LA ANTENA TRANSMISORA CON 4 RANURAS EN EL DISCO.....	72
FIGURA 3.9. RESPUESTA EN FRECUENCIA DE LA ANTENA TRANSMISORA CON 2 RESONADORES EN EL PLANO TIERRA.	72
FIGURA 3.10. LOCALIZACIÓN DE LAS FRECUENCIAS DE RESONANCIA SEGÚN LAS TABLAS 3.4; 3.5 Y OTROS MÍNIMOS OBTENIDOS EN LAS SIMULACIONES POR SEPARADO.....	74
FIGURA 3.11. RESPUESTA EN FRECUENCIA DE LA ANTENA TRANSMISORA	75
FIGURA 3.12. GANANCIA TOTAL DE LA ANTENA TRANSMISORA.....	76
FIGURA 3.13. DIRECTIVIDAD DE LA ANTENA TRANSMISORA.	76
FIGURA 3.14 IMPEDANCIA DE ENTRADA. PARTE REAL.....	77
FIGURA 3.15. IMPEDANCIA DE ENTRADA. PARTE IMAGINARIA.....	77
FIGURA 3.16. CODIFICACIÓN DEL ESPECTRO DE FRECUENCIAS	79

INTRODUCCIÓN

La tecnología RFID no está muy asentada en la sociedad actual, pero poco a poco ha ido ganando terreno entre los sistemas de identificación automáticos. Pensada en un origen como sustituto del código de barras, ahora mismo se aplica en numerosos campos y sectores de la industria. Además, hay multitud de investigaciones orientadas al uso de esta tecnología en un futuro no muy lejano. Actualmente, es una tecnología emergente que se caracteriza por rastrear objetos en movimiento, por codificar altas cantidades de información y por su bajo costo de implementación (Chen, 2007).

Un sistema RFID consta de dos elementos, una etiqueta y un lector; la etiqueta es un elemento móvil que tiene la información ya sea de identificación o de especificaciones del producto; el lector se encarga de extraer dicha información contenida en la etiqueta y la procesa de acuerdo a las necesidades de su aplicación (Chen, 2007). La capacidad de marcar objetos y personas con etiquetas pasivas, permite el fácil desarrollo de las redes de sensores inalámbricos (WSN) de bajo consumo, así como el mejoramiento de la relación costo - potencia efectiva, con indudables beneficios en aplicaciones que van desde la logística hasta la salud, robótica, seguridad, automoción y muchos otros.

Se pueden clasificar las etiquetas RFID, de acuerdo a su fuente de energía, en activas, semi-activas y pasivas. Las etiquetas activas requieren una fuente propia de alimentación (batería) y circuitos electrónicos para su funcionamiento. Los sistemas semi-activos requieren alimentación propia en la etiqueta. Mientras que el sistema activo, radica en que la etiqueta usa la energía emitida por el lector para transmitir la información. En sistemas RFID pasivos las etiquetas no requieren una fuente de alimentación propia, en lugar de esto, las etiquetas funcionan con la energía recibida del lector

que permite activar la etiqueta y de esta forma, enviar nuevamente la información al lector.

Los sistemas de RFID pasivos donde las etiquetas no utilizan chip proveen una solución de etiquetado a muy bajo costo, pues los transpondedores se fabrican totalmente impresos sin necesidad de utilizar un circuito integrado para proveer al lector el código único de identificación de cada elemento por lo que son conocidos como *chipless* RFID. Debido a que el costo de un sistema RFID está directamente relacionado con el costo de la etiqueta y del chip, existen varias técnicas para lograr la identificación sin el chip, por ejemplo, etiquetas basadas en TDR (Time Domain Reflectometry) como las ampliamente conocidas SAW (Surface Acoustic Wave) (Hartmann, 2002), (Plessky & Reindl, 2010), también hay etiquetas imprimibles que basan su funcionamiento en líneas de transmisión desacopladas (Chamarti & Varahramyan, 2006), etiquetas que realizan la identificación mediante la modulación de amplitud y fase, y por último las etiquetas con firma espectral.

El número de aplicaciones es amplio, ya que pueden ser utilizadas en sistemas de gestión de almacenes, en inventarios, transacciones de pago automático, transporte público, ganadería, hospitales, y en la lucha contra la falsificación (Preradovic & Karmakar, 2010).

En un sistema de identificación por radiofrecuencia con firma espectral convencional, el lector RFID envía una señal de RF (señal de interrogación) a través de la antena transmisora del lector, la señal viaja por el aire hasta llegar a la etiqueta; la antena receptora de la etiqueta capta las ondas electromagnéticas emitidas por el lector dentro del ancho de banda de la antena. La señal proveniente de la antena se propaga a través de la línea de transmisión y por acoplamiento magnético se excitan los resonadores adyacentes a la línea de transmisión y se realiza el proceso de codificación (firma espectral), finalmente llega al otro extremo de la etiqueta donde se

encuentra la antena transmisora, por último, la señal codificada es enviada nuevamente al lector RFID.

Para interrogar las etiquetas basadas en TDR el lector envía una señal en forma de pulso y escucha los ecos que llegan de regreso desde la etiqueta. Los ecos llegan al lector en forma de un tren de pulsos que puede ser utilizado para codificar los datos. Las etiquetas basadas en notación espectral codifican los datos dentro del espectro utilizando estructuras resonantes. Cada bit de datos se asocia normalmente con la presencia o ausencia de un pico de resonancia a una frecuencia determinada en el espectro. Estas etiquetas tienen la ventaja de ser robustas, totalmente imprimibles y tienen muy bajos costos de producción.

Antecedentes del problema

En la bibliografía, se presenta una gran cantidad de etiquetas pasivas sin chip para aplicaciones RFID. En algunas de estas se ha usado la codificación en frecuencia para lograr la firma espectral que transmite cada etiqueta, logrando con esto la identificación, según la cantidad de bits logrados a través de distintos tipos de resonadores, además de remover una parte del elemento radiante de la antena, entre otras técnicas.

También algunas de estas llevan incorporados sensores de microondas para lograr el censado de materiales, utilizado en aplicaciones donde se necesite controlar parámetros como temperatura y humedad. Muchas de las etiquetas que llevan incorporados este tipo de sensores son completamente imprimibles haciendo su fabricación más sencilla, paralelamente al bajo costo que esto representa. Existen varias etiquetas reportadas en UWB desde el 2008 hasta la fecha, obteniéndose excelentes resultados y han sido imprimibles, utilizando diferentes técnicas para lograr la firma espectral. Como se muestra en la Tabla 1.

Tabla I. Etiquetas reportadas

Año	Substrato	Ancho de Banda	Número de Bits	Sensor
2008	Taconic TLX-0, Er=2.45, h=0.787, tand=0.0019	500MHz	6	No
2008	Rogers RO3003	35%	0	Sí
2009	Taconic TLX-0, Er=2.45, h=0.787, tand=0.0019	4GHz	35	No
2009	Taconic TF290 h=90um Er=2.9 tand=0.0028	6GHz	23	No
2010	Taconic TF290 h=90um Er=2.9 tand=0.0028	6GHz	36	No
2010	Taconic TLX-0, Er=2.45, h=0.787, tand=0.0019	500MHz	6	No
2010	Taconic TLX-0, Er=2.45, h=0.787, tand=0.0019	500MHz	6	Sí
2013	Rogers RO4350B Er=3.55, tand=0.0027	7.76GHz	8	No
2015	Rogers RO4350B Er=3.55, tand=0.0027	7.5GHz	5	Sí

Fuente: (Pozar, 1998)

Atendiendo a todo lo anterior expuesto, se plantea como concepción de la investigación lo siguiente.

Problema a resolver

¿Cómo diseñar una etiqueta pasiva sin chip para aplicaciones RFID en UWB?

Hipótesis

Si se diseña y simula una etiqueta pasiva sin chip se podrá utilizar en aplicaciones RFID que requieran UWB.

Objeto de estudio

Sistema de Radiocomunicaciones

Objetivo

Diseñar una etiqueta pasiva sin chip para aplicaciones RFID en UWB.

Objetivos específicos

- Diseñar y simular la antena receptora, consistente en un monopolo en el rango de frecuencias de 3,1 a 10,7 GHz (UWB).
- Diseñar y simular la antena transmisora, consistente en un monopolo en el rango de frecuencias de UWB, junto a 4 ranuras en el elemento radiante y 2 resonadores en el plano tierra, para identificación mediante 16 bits.

Metodología de la investigación

Este trabajo investigativo es exploratorio porque se va a explorar las características inherentes al diseño de una etiqueta pasiva sin chip para aplicaciones RFID en UWB a través del desarrollo del Estado del Arte de esta tecnología.

Es descriptivo porque permite analizar y evaluar las tecnologías usadas para implementar estos sistemas y determinar los parámetros óptimos según las necesidades del proyecto.

Se aplica el paradigma empírico-analítico y un enfoque cuantitativo en razón de que se emplean cálculos matemáticos para el diseño de una etiqueta pasiva sin chip para aplicaciones RFID en UWB.

Y el diseño de esta investigación es experimental porque se alteran las variables aplicadas para realizar el análisis respectivo.

CAPITULO 1. Fundamentos teóricos de las antenas

En el presente capítulo se tratarán los fundamentos teóricos de las antenas, puntualizando en la importancia que poseen sus principales parámetros primarios y secundarios. Como un tipo especial de antena se tratará un grupo que actualmente ha alcanzado un gran auge en el desarrollo de los sistemas inalámbricos por las grandes prestaciones y ventajas que brindan, las antenas de microcintas.

1.1 Parámetros básicos de las antenas

Puesto que una antena formará parte de un sistema más amplio interesará caracterizarla con una serie de parámetros que la describan y permitan evaluar el efecto sobre el sistema de una determinada antena, o bien especificar el comportamiento deseado de una antena para incluirla en ese sistema.

1.1.1 Patrón de radiación

El patrón de radiación es una representación gráfica de las propiedades de radiación de la antena en función de las diferentes direcciones del espacio (sistema de coordenadas esférico) a una distancia fija. Con la antena situada en el origen y manteniendo constante la distancia, expresa el campo eléctrico en función de las variables angulares θ y ϕ . El patrón de radiación cobra relevancia en la zona de los campos lejanos, es decir, en la zona donde la forma del diagrama es invariante en función de la distancia.

Como el campo magnético se deriva directamente del campo eléctrico, la representación podría realizarse a partir de cualquiera de los dos, siendo

norma habitual que los diagramas se refieran al campo eléctrico. En la Figura 1.1 se muestra un ejemplo de un diagrama de radiación en 2D y 3D.

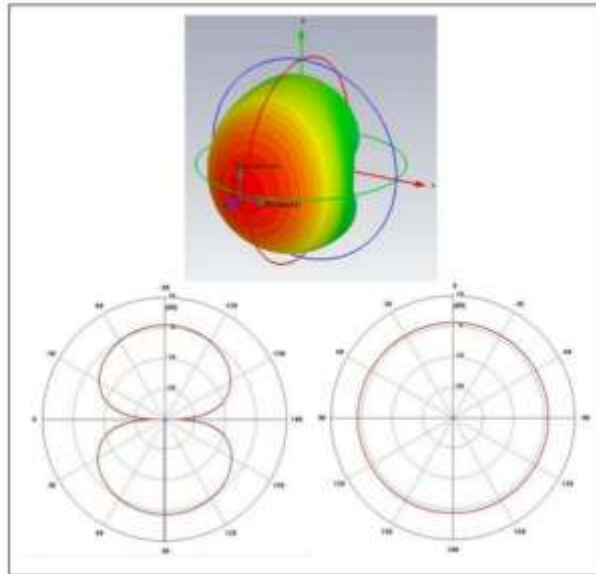


Figura 1.1. Diagrama de radiación en 2D y 3D

Fuente: (Pozar, 1998)

Los patrones de radiación de las antenas, generalmente no son uniformes, ya que en una dirección se incrementa su radiación y en otras se anula. La Figura 1.2 muestra los principales lóbulos del patrón de radiación. Los lóbulos se clasifican por sus dimensiones y posición en:

- Lóbulo principal: es el que contiene la región de máxima radiación.
- Lóbulos secundarios: incluyen todos los lóbulos de radiación de una antena excepto el lóbulo principal.
- Lóbulos laterales: son aquellos lóbulos secundarios con su radiación máxima a los lados del lóbulo principal.
- Lóbulo trasero: es el lóbulo secundario situado en dirección opuesta a la del lóbulo principal.

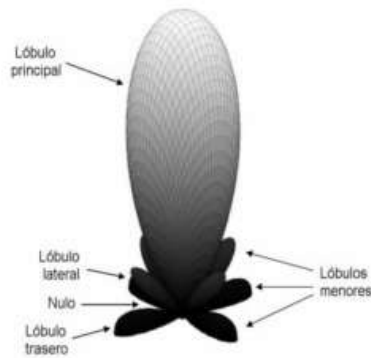


Figura 1.2. Lóbulos en el patrón de radiación

Fuente: (Balanis, 2005)

Del patrón de radiación como parámetro primario también se pueden definir otros parámetros secundarios como:

- Ancho del lóbulo principal: es el ángulo que existe entre los puntos de radiación de media potencia.
- Ancho del lóbulo principal entre nulos: se define como el ángulo entre las direcciones de los nulos vecinos del lóbulo principal.

1.1.2 Impedancia de entrada

La impedancia de entrada es la impedancia que presenta en los terminales a través de los cuales es conectada al equipo transmisor o receptor mediante una línea de transmisión o un circuito de acoplamiento.

La impedancia de una antena se define como la relación entre la tensión y la corriente en sus terminales de entrada. Dicha impedancia es en general compleja. La parte real $R_A(w)$ se denomina resistencia de antena y la parte imaginaria $X_A(w)$, reactancia de antena (Balanis, 2005). En la Figura 1.3 se puede observar la antena en modo transmisión.

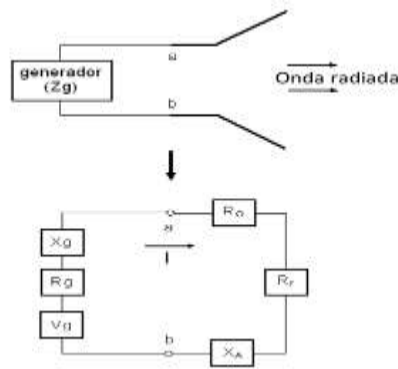


Figura 1.3. Antena en modo transmisión y equivalente de Thevenin

Fuente: (Balanis, 2005)

$$Z_A = R_A(\omega) + jX_A(\omega) \quad (1.1)$$

La parte real se puede descomponer como $R_A(\omega) = R_r + R_l$ siendo R_r la resistencia de radiación y R_l la resistencia de pérdidas óhmicas. De esta manera, se puede distinguir entre potencia radiada por la antena y potencia disipada en calor:

$$P_r = \frac{1}{2} |I_0|^2 R_r \quad \text{y} \quad P_l = \frac{1}{2} |I_0|^2 R_l \quad (1.2)$$

Donde I_0 es el valor de la corriente de entrada de la antena.

1.1.3 Directividad

La directividad es un parámetro secundario de las antenas ya que depende de la forma del patrón de radiación. Es uno de los parámetros eléctricos que contribuye a la cuantificación de las propiedades direccionales que poseen todas las antenas (Balanis, 2005).

Se define como la relación que existe entre la densidad de potencia máxima radiada por la antena bajo prueba y la densidad de potencia máxima radiada por otra antena tomada como referencia, siempre y cuando ambas radien la misma potencia total, como se muestra en la Figura 1.4. Es decir que:

$$D = \frac{P_{max}}{P_0} \Big] W_r = W_0 \quad (1.3)$$

Donde:

P_{max} : Densidad de potencia máxima de la antena.

P_0 : Densidad de potencia máxima de la antena de referencia.

W_r : Potencia total radiada por la antena.

W_0 : Potencia total radiada por la antena de referencia.

El significado físico corresponde a cuantas veces mayor es la densidad de potencia máxima radiada por una antena respecto a la antena de referencia para igual potencia total radiada. Este parámetro generalmente se expresa en dB y el rango teórico de la variación de la directividad está comprendido entre $1 \leq D \leq \infty$. La menor directividad corresponde a la fuente isotrópica.

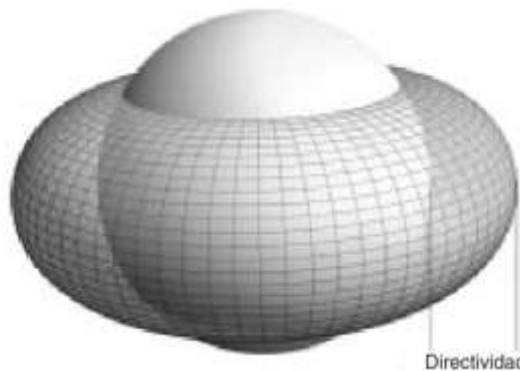


Figura 1.4. Directividad de una antena

Fuente: (Balanis, 2005)

1.1.4 Ganancia

La ganancia es un parámetro secundario de las antenas. Se define como la relación que existe entre la densidad de potencia máxima radiada por la antena bajo prueba y la densidad de potencia máxima radiada por otra antena tomada como referencia, siempre y cuando ambas tengan la misma potencia de alimentación (Balanis, 2005). Es decir que:

$$D = \frac{P_{max}}{P_0} \Big] W_0 = W_a \quad (1.4)$$

Donde:

P_{max} : Densidad de potencia máxima de la antena.

P_0 : Densidad de potencia máxima de la antena de referencia.

W_0 : Potencia total con que se alimenta la antena de referencia.

W_a : Potencia total con que se alimenta la antena bajo prueba.

La directividad y la ganancia están relacionadas entre sí por la eficiencia:

$$G = \xi D \quad (1.5)$$

En general siempre la ganancia debe ser menor que la directividad, ya que la eficiencia siempre es menor que 1.

1.1.5 Eficiencia

La eficiencia de una antena es un parámetro primario, pues no depende de ningún otro parámetro primario o secundario, y se define como la relación entre la potencia radiada y la potencia de alimentación de la antena, tal como se muestra en la Figura 1.5 (Balanis, 2005).

$$\xi = \frac{W_r}{W_a} \quad (1.6)$$

Donde:

W_r : Potencia total radiada por la antena en todas direcciones.

W_a : Potencia total con que se alimenta la antena.

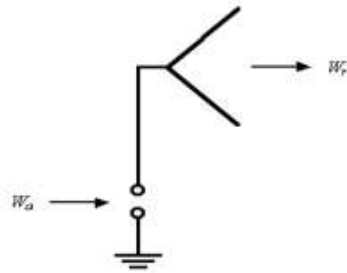


Figura 1.5. Potencia de alimentación y potencia radiada de una antena

Fuente: (Balanis, 2005)

1.1.6 Resistencia de Radiación

La resistencia de radiación se puede analizar como un parámetro equivalente a una resistencia óhmica que consumiría en calor por efecto Joule, la misma cantidad de potencia que la antena radia al medio circundante en forma de ondas electromagnéticas, cuando la corriente de alimentación es la misma. Realmente esa resistencia de radiación no existe físicamente, pero dicho concepto es muy útil y se emplea mucho en el análisis de cualquier antena. El valor matemático de esta resistencia se puede encontrar con la siguiente expresión:

$$R_r = \frac{W_r}{I_a^2} = \frac{\oint \overline{R_r} * \overline{d_s}}{I_a^2} \quad (1.7)$$

Donde:

R_r : Resistencia de radiación.

W_r : Potencia de radiación.

I_a : Corriente que toma la antena en su punto de alimentación.

P_r : Es el vector de Poynting sobre la esfera de observación.

1.1.7 Ancho de banda

Todas las antenas, debido a su geometría finita, están limitadas a operar satisfactoriamente en una banda o margen de frecuencias. Este intervalo

de frecuencias, en el que un parámetro determinado de una antena no sobrepasa unos límites prefijados, se conoce como ancho de banda (Balanis, 2005).

Se define como un parámetro secundario en las antenas pues depende a su vez de los valores extremos que pueden tomar otros parámetros (primarios o secundarios). Cualquiera de los parámetros de una antena en un sistema de radio puede definir el ancho de banda, pero existe uno solo de ellos que marca el límite en bajas frecuencias y otro (o el mismo) en altas frecuencias.

El ancho de banda (BW) se puede especificar como la relación entre el margen de frecuencias en que se cumplen las especificaciones y la frecuencia central. Dicha relación se suele expresar en forma de porcentaje (Balanis, 2005).

$$BW = \frac{f_h - f_l}{f_0} \quad (1.8)$$

De acuerdo al ancho de banda las antenas se pueden clasificar en:

- Antenas de banda estrecha: son aquellas que su ancho de banda es menor del 10% de su frecuencia nominal.
- Antenas de banda ancha: son aquellas que su ancho de banda va desde el 10% hasta el 120% de su portadora central.
- Antenas independientes de frecuencia: son aquellas que poseen anchos de banda de trabajo muy grandes, mayores de 1:4.

1.1.8 Razón de onda estacionaria

La razón de onda estacionaria se define como la relación entre el mínimo y el máximo de voltaje de la onda estacionaria de tensión o de corriente que

se forma a la salida del generador, tal como se muestra en la Figura 1.6 (González, 2008).

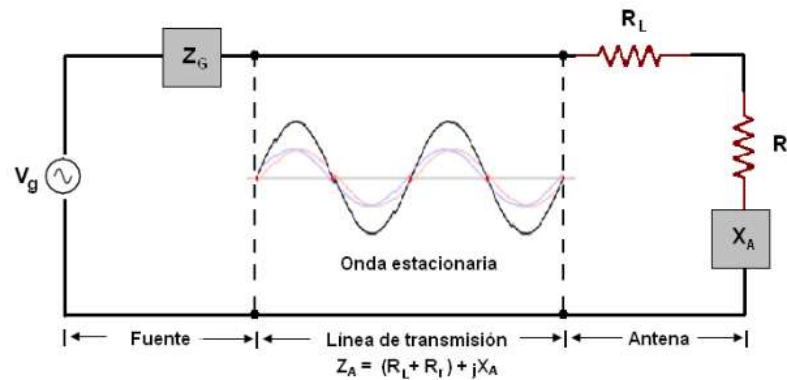


Figura 1.6. Circuitos de dos puertos mediante líneas de transmisión
Fuente: (González, 2008)

Es un número real que puede variar entre uno e infinito.

$$ROE = \frac{V_{max}}{V_{min}} = \frac{I_{max}}{I_{min}} = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (1.9)$$

Donde:

Γ : Coeficiente de reflexión.

1.2 Antenas de microcintas

Las antenas de microcintas son antenas impresas, pertenecientes al grupo de las antenas planas. Los primeros diseños de estas antenas se remontan a los años 50, pero hasta veinte años más tarde no se encuentran las primeras antenas fabricadas aplicadas en sistemas.

1.2.1 Estructuras y características

Una antena de microcintas, en su concepción más simple, está formada por un sustrato dieléctrico que presenta en una de sus caras un parche metálico radiante mientras que en la otra se encuentra el plano de tierra. Los parches

de microcintas pueden tener cualquier forma, sin embargo, las que se emplean con más frecuencia son la rectangular, cuadrada, circular, sector circular y en forma de anillo, las cuales resultan más fáciles de analizar y fabricar (Balanis, 2005). En Figura 1.7 se muestran los elementos que conforman una antena de microcintas.

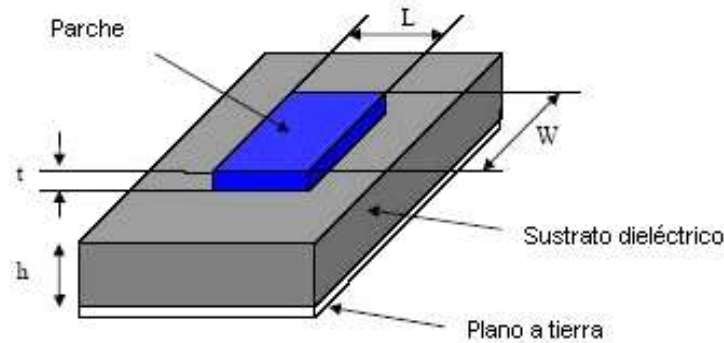


Figura 1.7. Elementos del parche de microcintas

Fuente: (Balanis, 2005)

El sustrato dieléctrico generalmente tiene un espesor (h) dentro del rango de $0.01\lambda_0$ a $0.05\lambda_0$, siendo λ_0 la longitud de onda en el espacio libre. Es usado fundamentalmente para proveer el espaciado correcto y soporte mecánico entre el parche y su plano de tierra. Es también a menudo usado con un material de constante dieléctrica (ξ_r) alta, para cargar el parche y reducir su tamaño (Balanis, 2005). El material del sustrato debe ser bajo en pérdidas de inserción con una pérdida tangencial menor que 0.005, fundamentalmente para aplicaciones de grandes arreglos.

1.2.2 Métodos de análisis

La gran cantidad de formas de parche, técnicas de alimentación, la existencia de un sustrato no homogéneo y condiciones de contorno no homogéneas hacen del análisis de las antenas de microcintas un proceso complejo para el cual se han creado diferentes modelos o técnicas de análisis entre las que se encuentran el modelo de la línea de transmisión,

el modelo de cavidad, el método de los momentos, el método de Diferencias Finitas en el Dominio del Tiempo (FDTD) y el Método de los Elementos Finitos (FEM).

1.2.2.1 Modelo de la línea de transmisión

Este modelo presenta una gran facilidad de diseño. Considera los bordes de la antena como dos aperturas (*slots*) que radian. Cada apertura tiene un grosor W (ancho de la antena), una altura h (ancho del sustrato) y separados a una distancia L (longitud de la antena). Las aperturas a su vez son consideradas como admitancias complejas compuestas de una conductancia G y una susceptancia B . En la Figura 1.8 se muestra el circuito equivalente para una antena de parche rectangular con el modelo de la línea de transmisión.

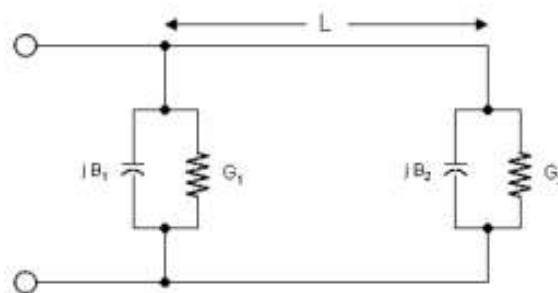


Figura 1.8. Modelo de la línea de transmisión de una antena

Fuente: (Balanis, 2005)

Desbordamiento de los campos

En las antenas de microcintas, casi todo el campo electromagnético queda confinado dentro del dieléctrico. El efecto de desbordamiento de los campos se manifiesta en los cuatro costados y depende del grosor y la permitividad del dieléctrico. La presencia de discontinuidades de tamaño comparable a la longitud de onda fuerza la radiación de la estructura. En la Figura 1.9 se muestra lo planteado anteriormente (Balanis, 2005).

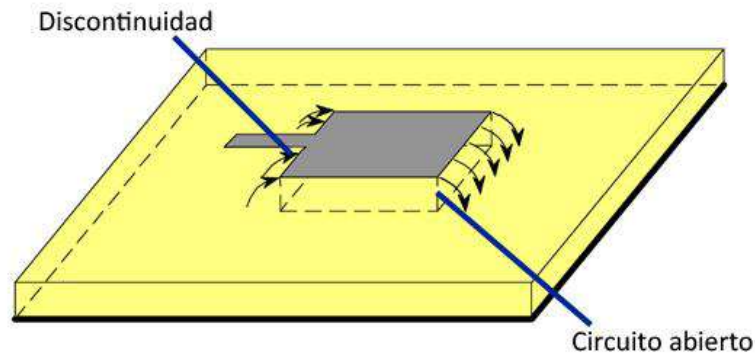


Figura 1.9. Desbordamiento de campo eléctrico en antenas de parche

Fuente: (Balanis, 2005)

Como los campos electromagnéticos se mueven en dos materiales distintos, se introduce la constante dieléctrica efectiva ϵ_{reff} , la cual sería la constante dieléctrica uniforme que mantiene las características eléctricas y constantes de propagación originales. A continuación se muestra la ecuación para hallar esta constante:

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + 12 \frac{h}{W} \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (1.10)$$

La constante dieléctrica efectiva está en función de la frecuencia, si la frecuencia de trabajo aumenta esta también aumenta y se concentrarán la mayoría de las líneas del campo eléctrico en el sustrato. Para las bajas frecuencias la constante dieléctrica efectiva es esencialmente constante.

Frecuencia de resonancia, longitud y ancho efectivo

Debido al efecto de desbordamiento de los campos la longitud y ancho efectivos de la antena no es de igual valor que las dimensiones físicas. Para el plano principal, xy, esto es demostrado en la Figura 1.10 y 1.11, donde las dimensiones de la longitud del parche han sido extendidas una distancia ΔL , en función de la constante dieléctrica efectiva y de la relación ancho-altura, W/h .

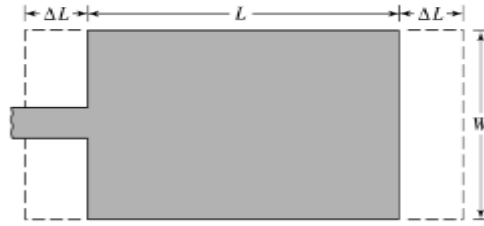


Figura 1.10. Vista superior

Fuente: (Cardama, y otros, 2002)

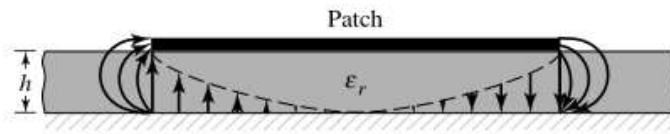


Figura 1.11. Vista lateral

Fuente: (Balanis, 2005)

Una forma práctica de realizar la aproximación de normalización de la extensión de la longitud es:

$$\frac{\Delta L}{h} = 0.412 \frac{(\xi_{reff} + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.264\right)}{(\xi_{reff} - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8\right)} \quad (1.11)$$

El parche ha sido extendido \$\Delta L\$, por cada lado, por lo que la longitud efectiva del parche es ahora,

$$L_{eff} = L + 2\Delta L \quad (1.12)$$

Donde:

$$L = \frac{1}{2f_r \sqrt{\xi_{reff} \epsilon_0 \mu_0}} - 2\Delta L \quad (1.13)$$

Para el modo dominante, \$TM_{010}\$, la frecuencia de resonancia de la antena de microcintas en función de la longitud es,

$$(f_r)_{010} = \frac{1}{2L \sqrt{\xi_r \epsilon_0 \mu_0}} = \frac{v_0}{2L \sqrt{\xi_r}} \quad (1.14)$$

Donde v_0 es la velocidad de la luz en el espacio libre, esta frecuencia de resonancia debe modificarse para incluir los efectos de desbordamiento de los campos,

$$f_{rc_{010}} = \frac{1}{2L_{eff}\sqrt{\xi_{reff}\epsilon_0\mu_0}} = \frac{1}{2(L + 2\Delta L)\sqrt{\xi_{reff}\epsilon_0\mu_0}} \quad (1.15)$$

A medida que aumenta la altura del sustrato, aumenta también el desbordamiento, llevando a separaciones más grandes entre los bordes radiantes y a bajas frecuencias de resonancia.

Para un radiador eficiente, el ancho práctico es:

$$W = \frac{1}{2f_r\sqrt{\epsilon_0\mu_0}}\sqrt{\frac{2}{\xi_r + 1}} = \frac{v_0}{2f_r}\sqrt{\frac{2}{\xi_r + 1}} \quad (1.16)$$

1.2.2.2 Modelo de la cavidad resonante

Este modelo se centra en estructuras no rectangulares o en los modos superiores de funcionamiento ya que ofrece una buena visión física del dispositivo.

Las antenas de microcintas pueden ser consideradas como cavidades cargadas con dieléctricos. Los campos normalizados dentro del dieléctrico pueden determinarse más fácilmente si la estructura se analiza como dos conductores eléctricos por encima y por debajo (paredes eléctricas) y por paredes magnéticas alrededor del perímetro del parche (Balanis, 2005).

Para entender el comportamiento físico del modelo, se analizará la formación de los campos dentro de la cavidad y a través de sus paredes. Cuando el parche es alimentado, una distribución de carga aparece en la cara exterior e interior del conductor, así como en el plano de masa. Ésta distribución de carga es controlada por dos mecanismos, uno atractivo y otro repulsivo, tal como se ilustra en la Figura 1.12.

El primero es debido a la interacción existente entre las cargas de signos opuestos de la cara inferior del parche y la cara superior del plano de masa, y tiende a mantener la concentración de cargas de la cara interior del conductor. El efecto repulsivo a su vez hace que las cargas de la superficie inferior del parche se desplacen a la cara superior, atravesando los bordes. El movimiento de estas cargas provoca la aparición de dos densidades superficiales de corriente, J_b y J_t , en la cara inferior y superior respectivamente.

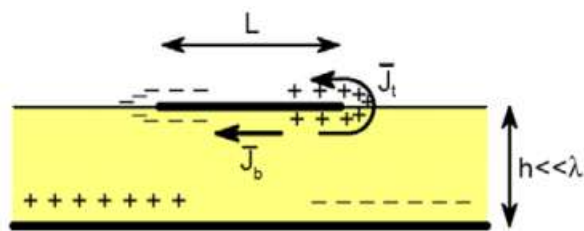


Figura 1.12. Corrientes sobre el conductor

Fuente: (Balanis, 2005)

Cómo la distancia entre la placa conductora y el plano de masa es muy pequeña, el efecto que predomina es el atractivo, por lo que la mayor parte de la carga y la corriente se encontrará en la superficie inferior del parche. De esta forma, una pequeña parte de la corriente atravesará el borde y llegará a la parte superior del conductor, que se irá disminuyendo según disminuya la relación entre la altura y la anchura del sustrato (Balanis, 2005).

En el límite se hará cero con lo que las componentes tangenciales de los campos magnéticos en los bordes del parche desaparecen y se podrá modelar las cuatro paredes como paredes conductoras magnéticas perfectas, que idealmente no afectan a la formación de campos electromagnéticos y magnéticos en el interior del dieléctrico. Este efecto es ilustrado en la Figura 1.13.

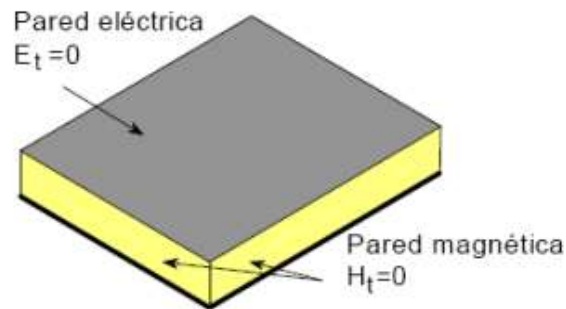


Figura 1.13. Paredes magnéticas y eléctricas

Fuente: (Balanis, 2005)

Frecuencia de resonancia

Las frecuencias de resonancia de la cavidad, así como de la antena de microcintas se encuentran utilizando la siguiente ecuación. Para estas, la altura del sustrato es muy pequeña, típicamente $h < 0.05\lambda_0$. Por consiguiente las frecuencias resonantes para los modos Transverso Magnéticos (TMz_{mno}) pueden estar escritas por:

$$(f_r)_{mno} = \frac{1}{2\pi(\mu\varepsilon)^{\frac{1}{2}}} \left(\frac{X_{mn}}{\alpha} \right) \quad (1.17)$$

1.2.3 Geometría del parche

Las antenas de microcintas pueden dividirse en cuatro categorías básicas: antenas de parches de microcintas, dipolos de microcintas, antenas de ranura impresa, antenas de microcintas de onda viajera, siendo los parches de microcintas los de mayor utilización. Algunas de las formas de parches de microcintas que más se emplean son las que se pueden observar en la Figura 1.14. La forma dependerá de la aplicación que se requiera. Los diseños van desde un simple parche rectangular hasta diseños fractales. Según el diseño y los materiales será su precio.

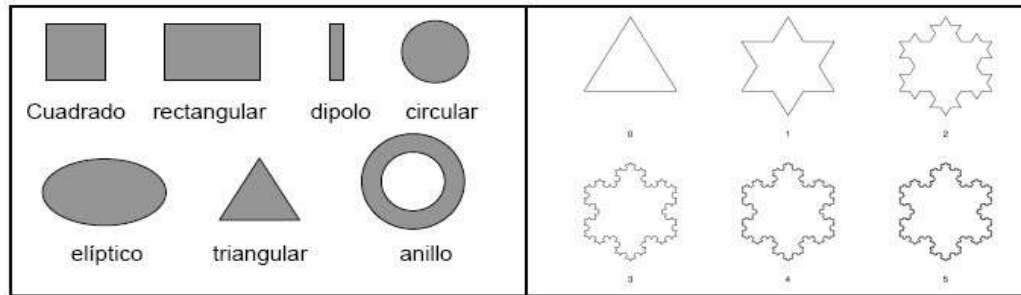


Figura 1.14. Geometría de los parches de microcinta

Fuente: (Balanis, 2005)

Los parches rectangulares tienden a tener un mayor ancho de banda porque son más grandes que las otras formas. Los parches circulares y elípticos son otra manera de configurar las antenas de microcintas, estos parches al ser más pequeños, tienen una ganancia y un ancho de banda ligeramente más bajos que su equivalente rectangular.

1.2.4 Métodos de alimentación

Existen diferentes métodos de alimentación para una antena de microcintas de forma que radie eficientemente en las frecuencias deseadas mediante un proceso de acoplamiento de impedancias. La selección de la técnica de alimentación más adecuada viene determinada por varios factores, pero el más importante a tener en cuenta es la eficiencia en la transferencia de potencia entre la estructura radiante y la estructura de alimentación, existiendo una correspondencia de impedancias entre las dos.

Las técnicas de alimentación que se utilizan para este tipo de antenas se pueden clasificar en técnicas de contacto directo, que como su nombre lo indica son técnicas de contacto directo entre la alimentación y el parche radiante, aunque no es estrictamente necesario que haya un contacto directo, entre las cuales se pueden encontrar: la alimentación a través de una línea de microcinta y la alimentación por conector coaxial y en técnicas de contacto no directo, en las cuales se trata que la alimentación no entre

en contacto con el parche, entre las cuales se pueden encontrar: la alimentación por proximidad y la alimentación por ranura (Sandoval, 2009).

1.2.4.1 Alimentación a través de línea de microcinta

Se trata de una línea conductora impresa en la misma cara del sustrato en la que se encuentra el parche, de modo que se transmita la energía desde el puerto de entrada hasta el elemento radiante. La cinta es generalmente más estrecha que el parche y del mismo material. Sus principales aspectos positivos son la facilidad en la fabricación, simplicidad en la unión controlando la posición de inserción y bastante sencilla de modelar.

Por el contrario, con el aumento del grosor del sustrato, aumentan las ondas de superficie y las radiaciones espurias, lo que limita el ancho de banda de diseño típicamente entre un 2-5%. Además, se produce un importante acoplamiento entre el parche y la línea, lo que genera altos niveles de campos inducidos. Otro aspecto negativo de este modo de alimentación es su inevitable falta de simetría una vez que la antena ha sido llevada a fabricación. Este hecho hace que se generen modos de orden mayor y que aumente el nivel de radiación contrapolar, tal y como se ha indicado anteriormente (Sandoval, 2007). La alimentación mediante línea de microcinta puede verse en la Figura 1.15.

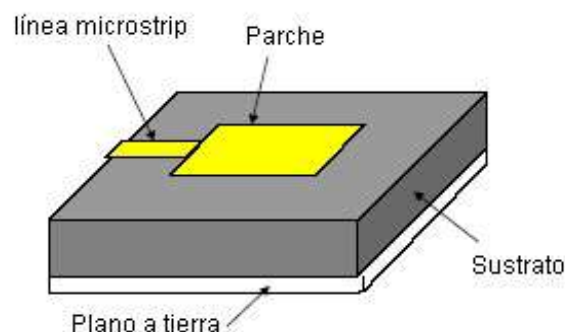


Figura 1.15. Alimentación por línea de microcinta

Fuente: (Sandoval, 2009)

1.2.4.2 Alimentación por conector coaxial

Otro tipo de alimentación muy utilizado es la alimentación mediante conector coaxial, en la que el conductor interior está unido al parche radiante y el conductor exterior está conectado al plano masa. Asimismo, es fácil de fabricar y unir y tiene un bajo nivel de radiaciones espurias. Sin embargo, tiene un ancho de banda estrecho y es más difícil de modelar, sobre todo en sustratos gruesos ($h > 0.02 \lambda_0$), ya que la propia vía puede llegar a funcionar como una antena propia, perturbando la señal generada por el parche (Sandoval, 2009). En la Figura 1.16 se muestra la alimentación por conector coaxial.

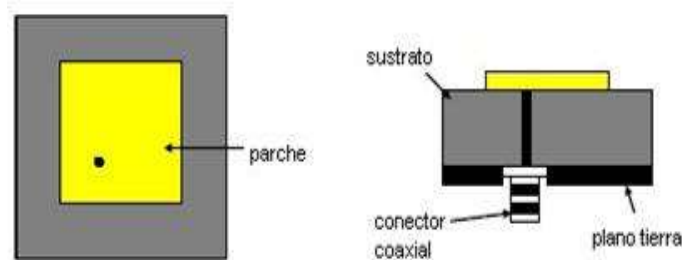


Figura 1.16. Antena parche con alimentación por conector coaxial

Fuente: (Sandoval, 2009)

1.2.4.3 Alimentación a través de ranura

El modelo de alimentación mediante ranura consiste en añadir dos sustratos a la antena de parche, los cuales, de forma general, presentan alta y baja permitividad para favorecer el guiado y la radiación respectivamente. Ambos sustratos están separados por un plano de masa al que se le ha sustraído una parte en forma de ranura, tal y como se muestra en la Figura 1.17. En la parte inferior del segundo sustrato hay una línea de microcinta de alimentación cuya energía se acopla al parche a través de la ranura realizada en el plano de masa que separa los dos sustratos. Esta línea de microcinta termina en un *stub* en circuito abierto.

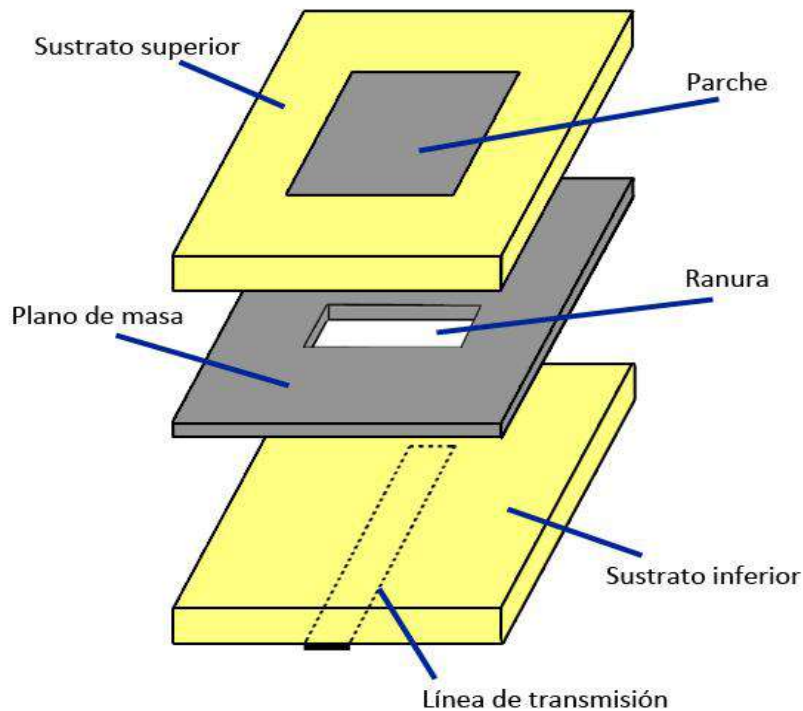


Figura 1.17. Esquema de alimentación con acoplo por ranura
 Fuente: (Sandoval, 2009)

1.2.4.4 Método de alimentación por proximidad

Este método consiste en añadir dos capas de dieléctricos a la antena de parche, lo que aporta mayor grado de libertad en la implementación del diseño. La configuración varía respecto al método anterior porque presenta dos sustratos entre el parche y el plano de masa, como se muestra en la Figura 1.18. Sobre el sustrato inferior va situada la línea de transmisión y está separada del parche por el sustrato superior. Este modelo permite aplicar métodos de ensanchamiento de banda de forma sencilla con una correcta elección de los dieléctricos. Esta técnica es muy utilizada en la construcción de arreglos de antenas. Sobre el sustrato superior se colocarían los parches y la red de alimentación estaría situada entre dicho sustrato y el inferior. Según documentación existente, una de las fases críticas de la construcción de este tipo de parches es la de la alineación de las capas de la antena y la alimentación.

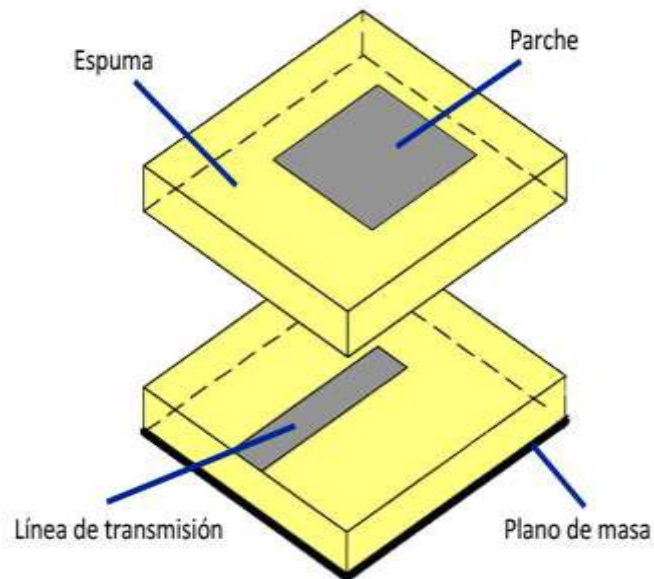


Figura 1.18. Antena de microcinta alimentada por proximidad

Fuente: (Sandoval, 2009)

1.2.5 Ventajas y desventajas

Las ventajas más importantes de las antenas de microcintas son las siguientes:

- Peso ligero, pequeño volumen, bajo perfil plano que permite una fácil adaptación a la estructura de acoplamiento.
- Bajos costos de fabricación, por lo que se predisponen para una producción en masa.
- Soportan tanto polarización lineal como circular.
- Pueden diseñarse para trabajar a distintas frecuencias.
- Pueden ser integradas de forma sencilla en circuitos de microondas impresos.

Por otro lado, las antenas de microcintas tienen una serie de inconvenientes en comparación con otras antenas de microondas:

- Baja eficiencia.

- Son de pequeño ancho de banda.
- Baja ganancia y potencia.
- La mayoría de estas antenas radian en mitad del plano.

1.3 Antenas de banda ancha

Las antenas de banda ancha se caracterizan porque su impedancia no varía significativamente a lo largo de un gran ancho de banda, algunos ejemplos de estas antenas son antenas de onda viajera, hélices y antenas log periódicas.

Para que una antena sea considerada de banda ancha, el BWR (*Bandwidth Ratio*) debe ser mínimo 2 (Balanis, 2005).

EL BWR se expresa como un cociente entre la frecuencia de resonancia más alta F_h y la frecuencia de resonancia más baja F_L como se muestra en la ecuación siguiente. De esta manera la frecuencia de operación más baja debe ser al menos dos veces menor que la frecuencia de operación más alta.

$$BWR = F_h/F_L$$

1.3.1 Monopolo de *ultra wide band* (UWB)

Las antenas UWB son aquellas que tienen un ancho de banda mayor a 500 Mhz de acuerdo a la FCC (*Federal Communications Commission*), estas antenas operan en el rango de frecuencias desde 3.1 a 10.7 GHz, espectro que comprende la banda UWB.

En la siguiente figura se muestra una antena monopolo de UWB de parche circular, al que se le ha modificado el plano tierra para lograr su característica UWB.

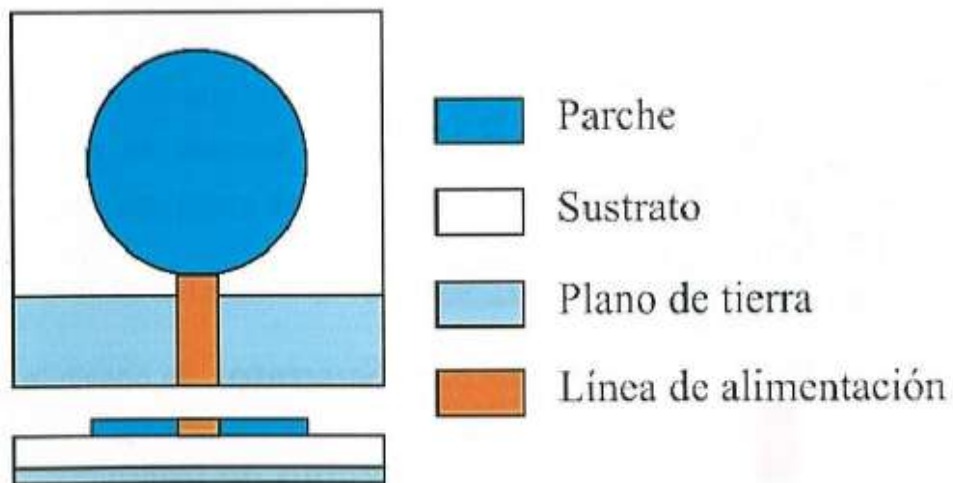


Figura 1.19 Monopolo UWB de parche circular

Fuente: (Sánchez, 2014)

La característica de UWB del monopolo se atribuye a la superposición de modos que están distribuidos en todo el ancho de banda, como se muestra en la siguiente figura.

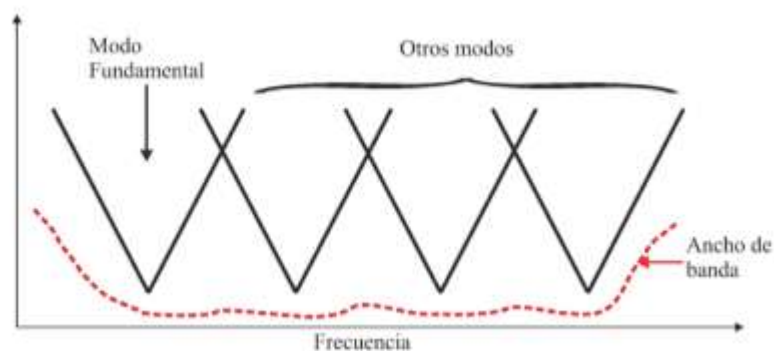


Figura 1.20 Principio de operación del monopolo circular de UWB

Fuente: (Sánchez, 2014)

1.3.2 Diseño del elemento radiante

Para el diseño de la antena de microcinta, (Balanis, 2005) propone una serie de etapas que contribuyen a diseñar estas estructuras. El primer paso

es definir la constante dieléctrica del sustrato (ϵ_r), la frecuencia de operación (f_0) en Hz y el espesor del sustrato (h) en cm. Ver Fig. 1.21.

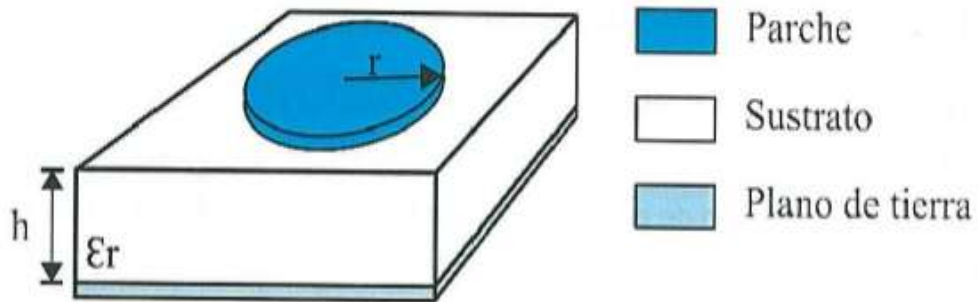


Figura 1.21 Parche circular

Fuente: (Sánchez, 2014)

Para hallar las dimensiones necesarias se utilizan las siguientes ecuaciones presentes en la Tabla 1.2.

Tabla 1.2 Ecuaciones de diseño del parche circular

Radio del disco (r)	$r = \frac{F}{\left\{1 + \frac{2h}{\pi\epsilon_r F} \left[\ln\left(\frac{\pi F}{2h}\right) + 1.7726 \right]\right\}^{1/2}}$
F	$F = \frac{8.791 \cdot 10^9}{f_0 \sqrt{\epsilon_r}}$
Área efectiva del disco radiante (R_e)	$r_e = r \left\{1 + \frac{2h}{\pi a \epsilon_r} \left[\ln\left(\frac{\pi a}{2h}\right) + 1.7726 \right]\right\}^{1/2}$
Frecuencia de resonancia (f_{rc})	$(f_{rc})_{110} = \frac{1.8412c}{2\pi a_e \sqrt{\epsilon_r}}$ *

Elaborada por el autor

* De acuerdo a la formulación del modelo de cavidad, el modo dominante es el TM_{110}^z por consiguiente, la frecuencia de resonancia en este modo es el que se muestra.

1.4 Antena ranurada

Son antenas de microcinta a las cuales se le ha modificado la forma removiendo parte del conductor ya sea de su elemento radiante, plano de tierra o ambos, con el objetivo de eliminar selectivamente frecuencias de su ancho de banda. Esto se muestra en la siguiente figura.

(Curty, Declercq, Dehollain, & Joehl, 2007)

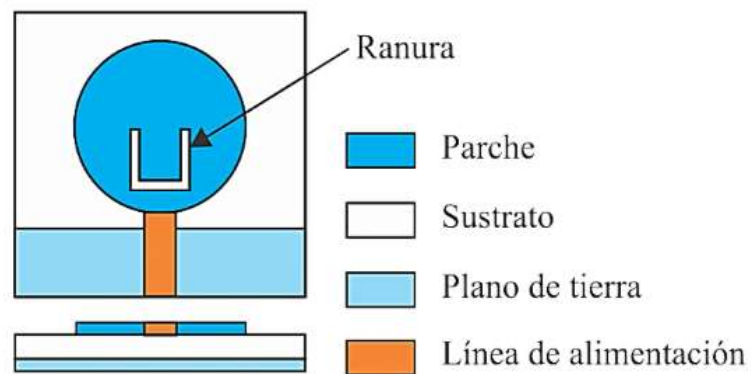


Figura 1.21 Monopolo circular UWB ranurada

(Sánchez, 2014)

CAPITULO 2. Sistemas de Identificación por Radiofrecuencia

La identificación por radiofrecuencias es una técnica moderna de transmisión y recepción inalámbrica de datos para aplicaciones que incluyen identificación automática, rastreo y vigilancia. Como los códigos de barra y otras formas de identificación no satisfacen las demandas actuales, esta tecnología atrae la atención para múltiples aplicaciones como logística, manejo de cadenas de suministro, seguridad, supervisión, control de acceso y muchas otras. El objetivo principal de un sistema RFID es permitir la realización de operaciones precisas y el fácil manejo del proceso comercial, incrementando la eficiencia en el monitoreo, reduciendo la intervención humana, mejorando en el análisis de control de calidad y falla, reduciendo la pérdida de artículos e incrementando la ganancia del negocio (Preradovic & Karmakar, 2012).

2.2 Tecnología de los sistemas de RFID.

La tecnología RFID constituye una herramienta de almacenamiento o recuperación remota de datos. Esta tecnología sustituye el código de barras en el control de inventario y seguimiento de procesos industriales pues a diferencia de estos un sistema de RFID no requiere una línea de visibilidad directa para obtener resultados precisos.

Como se muestra en figura 2.1, el sistema RFID está dividido en dos capas: la capa física y la capa de tecnología de la información. La capa física comprende la etiqueta, lector /interrogador, y la zona de interrogación (IZ). A continuación, se realiza el debate detallado de cada componente de la capa física del sistema RFID.

La etiqueta (*Tag*). Se adhieren al artículo y almacenan la identificación única del producto, son conocidas también como transpondedor y están

compuestas por: una antena y un circuito integrado o una superficie selectiva en frecuencia (chipless RFID). La antena de la etiqueta se comunica con el lector por medio de ondas electromagnéticas y pueden fabricarse de aluminio, cobre u otros materiales, siendo creadas por técnicas de disposición de materiales similares a la inyección de tinta sobre una hoja. La cantidad de material conductor utilizado y el tamaño de la antena determinan la sensibilidad de la etiqueta, aspecto crucial para obtener buenos rangos de lectura y minimizar la influencia de los materiales sobre los que son aplicados los transpondedores (Karmakar, 2010).

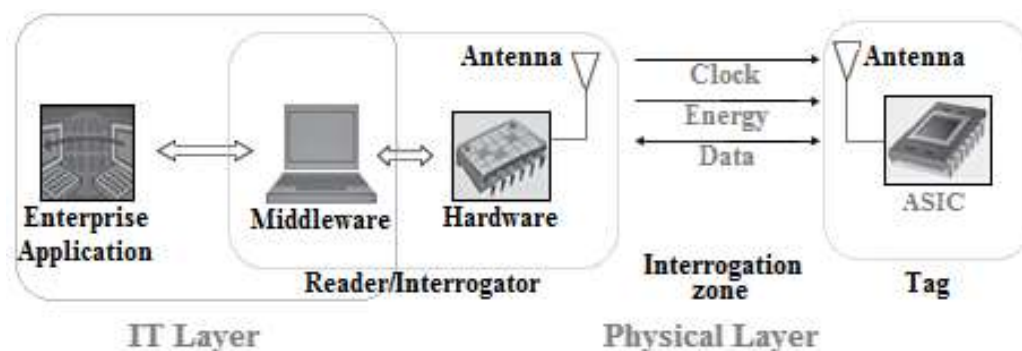


Figura 2.1. Sistema de RFID genérico

Fuente: (Karmakar, 2010)

Lector /interrogador. Realiza una función similar al escáner utilizado para códigos de barras ópticos. Pueden ser fijos o portátiles y están compuestos principalmente por dos componentes: la antena y el circuito interrogador. La antena permite la comunicación con la etiqueta usando ondas electromagnéticas. Para etiquetas pasivas con chip, la antena del lector provee la potencia necesaria para la operación del circuito integrado. El circuito interrogador es un intermediario entre la antena del lector y la capa IT y realiza la tarea de enviar datos a través de la antena del lector, recibir la respuesta de la etiqueta y luego enviarla a la capa IT para que la información sea procesada, este también realiza la tarea de coordinación entre distintas antenas del lector para la lectura eficiente y exitosa de etiquetas.

Zona de lectura. Comprende el área donde el lector puede enviar o recibir datos desde una etiqueta RFID. Es el espacio físico tridimensional comprendido entre la etiqueta y el lector, donde las ondas electromagnéticas viajan entre ellos. Se incluye en la capa física porque la comunicación exitosa entre la etiqueta y el lector depende en gran medida de las interferencias de otras fuentes electromagnéticas, reflexión de ondas, presencia de objetos móviles o estacionarios en esta zona.

La capa de tecnología de la información (*IT Layer*) está compuesta por el de *Middleware* y el módulo de Aplicaciones de la Empresa.

El software personalizado (*Middleware*). Es el intermediario entre el interrogador y el módulo de aplicaciones de la empresa, envía y recolecta datos directamente del interrogador, realiza un proceso conteo comercial observando y almacenando los datos, para enviarlo por solicitud, al módulo de aplicación de la empresa. Además, comprende el software usado para monitorear, configurar, y manejar el hardware del interrogador.

El módulo de aplicación de la empresa. Utiliza los datos inferidos del *Middleware*, y realiza los procesos pertinentes al negocio como la creación de una factura que son efectuados usando los datos en los formatos requeridos.

2.1 Factores que afectan la zona de interrogación.

Las etiquetas pasivas de RFID son una tecnología novedosa en comparación con la tecnología de los códigos de barra. Actualmente, existen relativamente pocas implementaciones en la cadena de abastecimiento y pocos proveedores con experiencia real en el campo. Cada instalación resulta lo suficientemente distinta de las otras como para convertir los relevamientos de cobertura más en un arte que en una ciencia, por lo menos en un comienzo. Este epígrafe presenta algunas

características propias de la radiofrecuencia que afectan la lectura de las etiquetas.

Absorción: Los líquidos y los materiales que contienen líquidos (como alimentos, por ejemplo) absorben las ondas de RF en UHF. La absorción atenúa o debilita el campo electromagnético propagado desde una antena del lector o de regreso desde la antena de la etiqueta (figura 2.2a).

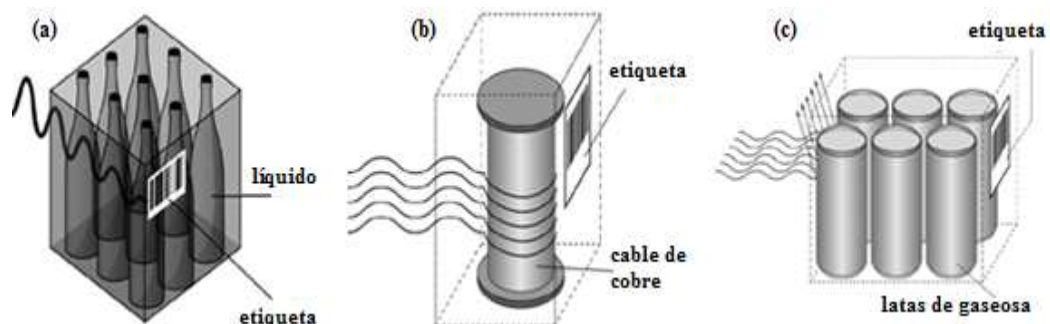


Figura 2.2 a) Absorción por líquidos. b) Bloqueo por bobinas de cables. c) Reflexión sobre el metal

Fuente: (Karmakar, 2010)

La absorción varía de acuerdo al tipo de sustancia y con la frecuencia de la señal. Es posible calcular el grado de absorción de varias sustancias en determinadas frecuencias. Por ejemplo, las etiquetas posicionadas en el espacio de aire justo debajo de la tapa de las botellas reducirán la absorción.

Interferencias: Algunos materiales ofrecen interferencias reducidas a la energía de RF al pasar a través de ellos. Ropa hecha de fibras orgánicas y sintéticas, productos de papel, madera, plástico no conductor y cartón son algunos ejemplos. Los embalajes de papel con cubiertas de metal, por el contrario, bloquearán las ondas de radio.

Revestimiento: Metales y láminas finas de metal pueden inducir una onda de radio impidiéndole pasar. El material de revestimiento puede actuar como un espiral de inducción, creando un campo opuesto que debilita la

señal (figura 2.2b). En general, las frecuencias de radio elevadas son más fáciles de revestir que las frecuencias bajas. Además, algunos materiales ofrecen gran resistencia al paso de las ondas electromagnéticas mientras otros no las afectan como, por ejemplo, el metal de las latas de gaseosa es opaco para las ondas de RF (figura 2.2c) mientras el plástico de las botellas de aceite y el aceite son transparentes a estas.

Desintonización: Las antenas de la etiqueta, son afectadas por sus alrededores inmediatos. Una etiqueta aplicada a una caja de gaseosas, por ejemplo, será más afectada por su ubicación (parte superior o inferior de la caja) que cualquier otra. La absorción y el revestimiento de las latas reducirán la cantidad de energía que alcanza la etiqueta y reducirá la señal de retorno al lector. Las etiquetas ubicadas demasiado cerca pueden fácilmente unirse unas a otras, desintonizando sus antenas. El metal en las cintas transportadoras, auto-elevadores y otros equipamientos manuales también pueden desintonizar, bloquear y reflejar señales.

Refracción: En UHF, la refracción es posiblemente el problema más importante para RFID. Las refracciones existen debido a que la superficie del material posee una constante dieléctrica diferente a la del aire del ambiente. Debido a la refracción, la señal del lector quizás no penetre un pallet envuelto con *film stretch*, por ejemplo, y las etiquetas nunca reciban suficiente energía para activarse. Los metales refractan casi todas las señales de radio y algunos tipos de láminas de plástico, vidrios y materiales de construcción también afectan las ondas de RF.

Zonas Muertas: La interferencia crea las llamadas “zonas muertas” debido a las características del ambiente. Otros sistemas de radio, computadoras, y teléfonos pueden crear interferencias, pero estas son filtradas usualmente por el protocolo inalámbrico del lector. La descarga electrostática de materiales que acumulan electricidad estática y no están apropiadamente instalados a tierra, también puede crear interferencia. La señal del lector

puede interferirse a sí misma debido a múltiples reflexiones desde otras superficies. Un ejemplo, es el caso de una señal que rebota en un objeto de metal y alcanza una etiqueta en forma simultánea.

2.2 Clasificación de los sistemas RFID.

En general, existen muchos tipos de sistemas RFID, los cuales pueden ser clasificados a partir de la forma de alimentación de la etiqueta, se dividen en tres: sistemas RFID activos, semi-activos y pasivos. A continuación, se describen cada uno de ellos (Sánchez, 2014).

2.2.1 Sistema RFID activo

Las etiquetas RFID activas requieren una fuente propia de alimentación (batería) (Figura 2.3) y circuitos electrónicos para su funcionamiento, esto incrementa el precio y limita el tiempo de operación de la etiqueta. Este tipo de etiqueta no necesita energía emitida por el lector para la transferencia de datos, por lo tanto, siempre está transmitiendo con o sin la presencia del lector. La distancia de lectura de la etiqueta es de 30 m o más.

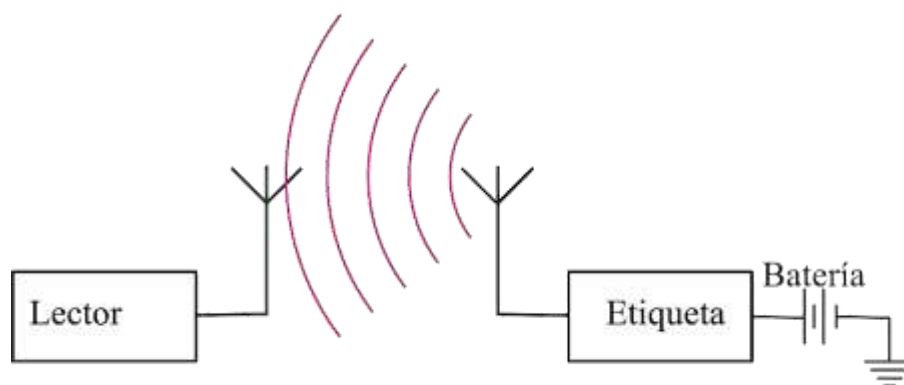


Figura. 2.3 Esquema de un sistema RFID activo

Fuente: (Sánchez, 2014)

Una etiqueta RFID activa se conforma por una antena, un microchip, una fuente de alimentación y circuitos electrónicos que adecuan la señal.

Debido a la necesidad de un circuito electrónico adicional, se ha limitado su uso ya que el costo de fabricación de la etiqueta es excesivo.

2.2.2 Sistema RFID semi-activo

Los sistemas RFID semi-activos requieren alimentación propia en la etiqueta, un sensor que la active cuando está en presencia del lector y circuitos electrónicos de acondicionamiento de señal como en el caso de un sistema RFID activo (Figura 2.4). La diferencia con el sistema activo, radica en que la etiqueta usa la energía emitida por el lector para transmitir la información, esto permite un aumento en la vida operacional de la etiqueta, por otro lado, la distancia máxima de lectura está en el mismo rango que el sistema activo (alrededor de 30 m).

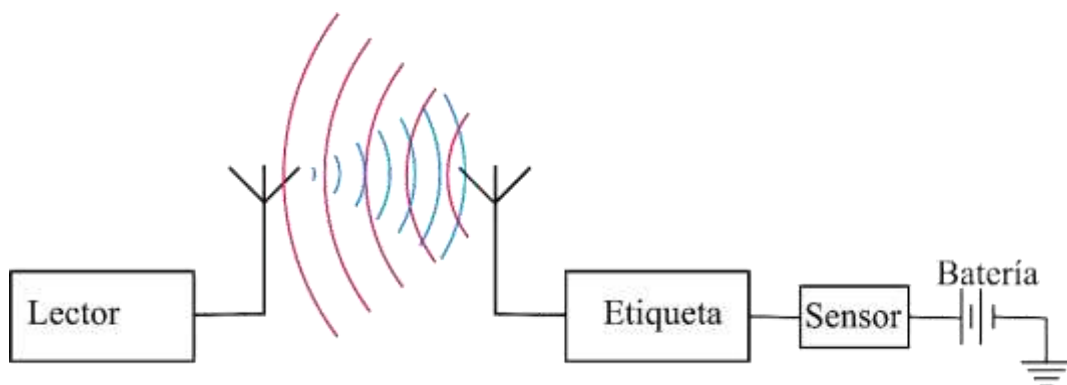


Figura 2.4. Esquema de un sistema RFID semi-activo

Fuente: (Sánchez, 2014)

2.2.3 Sistema RFID pasivo

En sistemas RFID pasivos las etiquetas no requieren una fuente de alimentación propia, en lugar de esto, las etiquetas funcionan con la energía recibida del lector que permite activar la etiqueta y de esta forma, enviar nuevamente la información al lector (Figura 2.5).

Una etiqueta RFID pasiva está conformada por una antena receptora, una antena transmisora y un dispositivo donde se almacena la información, generalmente un microchip (Plessky & Reindl, 2010).

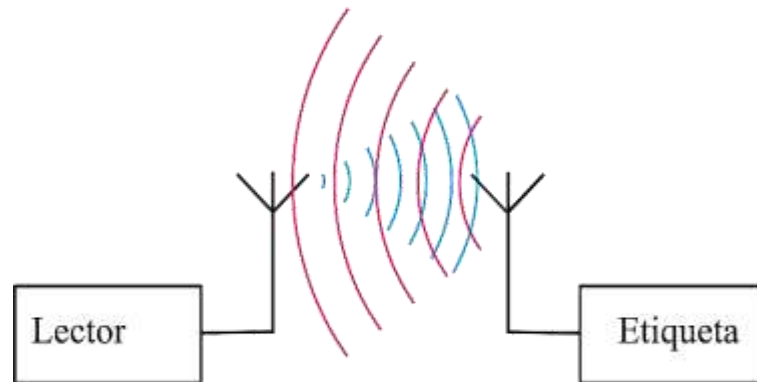


Figura 2.5. Esquema de un sistema RFID pasivo
Fuente: (Sánchez, 2014)

Las etiquetas pasivas en comparación con las activas son estructuras simples, livianas, menos costosas, por lo general resistentes a ambientes hostiles y con una vida útil ilimitada. Las principales desventajas están asociadas con la distancia máxima de lectura (inferior a 10 m), y la necesidad de una alta potencia de transmisión por parte del lector, ya que éste debe proporcionar energía suficiente para activar el chip, realizar el procesamiento de datos y transmitir la información almacenada nuevamente al lector.

2.4 Etiquetas de RFID pasivas con chip

La norma ISO/IEC 19762-3 define la etiqueta pasiva como “un dispositivo RFID que refleja la señal portadora proveniente del lector”, este tipo de etiquetas no posee ninguna fuente de alimentación (no tiene batería), obtiene energía de la señal de RF que envía el lector. Estas etiquetas, utilizan la energía entregada por el lector para activar el CI, el cual almacena la identificación única del producto; además, el chip maneja la conversión de energía, control lógico, almacenamiento, recuperación de

datos y la modulación requerida para devolver los datos al lector (Karmakar, 2010). La tabla 2.1 muestra una comparación entre los parámetros más importantes de las etiquetas de RFID activas y pasivas.

Tabla 2.1. Comparación entre etiquetas activas y pasivas.

Parámetros	Pasivas con chip	Pasivas sin chip	Activas
Fuente de alimentación	Señal de RF del lector	Señal de RF del lector	Interna de la etiqueta
Batería	No	No	Si
Costo	0,20 a 0,50	0,20 a 0,50	Más de 20
Vida útil	Más de 20	Más de 20 años	De 2 a 5 años
Campo de	10cm a 20m	10cm a más	De 100 a 225 m
Almacenamiento de datos	Hasta 35 bits	128 bytes de Lectura/Escritura	Más de 128kb de Lectura/Escritura

Elaborada por el autor

2.4.1 Principio de trabajo de los sistemas con etiquetas pasivas con chip.

Las etiquetas pasivas de RFID en la banda de UHF que operan en la zona de los campos lejanos, funcionan bajo el principio de retro esparcimiento o sección transversal de radar (RCS) (Curty, Declercq, Dehollain, & Joehl, 2007). La figura 2.6 muestra un esquema del funcionamiento de un sistema de RFID pasivo. El lector envía una señal con determinada potencia que incide sobre la antena de la etiqueta, produciendo una diferencia de potencial entre los terminales.

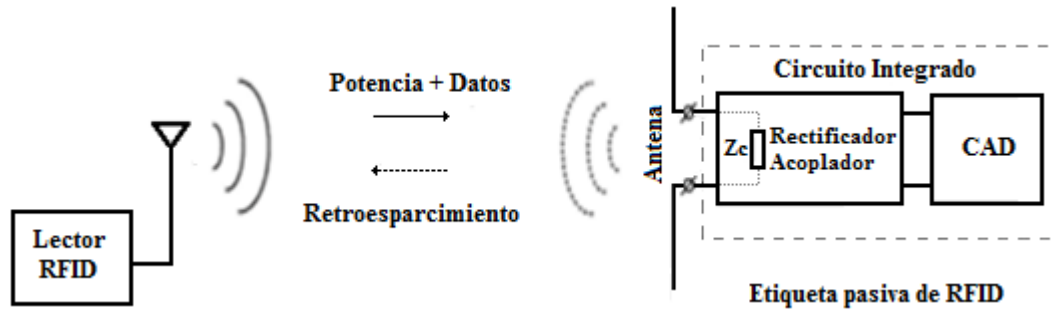


Figura 2.6. Esquema del principio de operación de un sistema RFID con etiqueta pasiva
Fuente: (Curty, Declercq, Dehollain, & Joehl, 2007)

El potencial alimenta el CI, el cual genera una señal variando su impedancia que es enviada de regreso al lector a través de la antena. El intercambio de datos entre la etiqueta y el lector puede emplear diferentes tipos de modulación y codificación, en la figura 2.7 se muestra un ejemplo, en el intervalo de tiempo de una trama se tiene una onda continua (CW) y una señal modulada (solicitud de respuesta). En el período de la señal continua la etiqueta envía la respuesta por medio de la técnica de retro esparcimiento en donde se presenta la variación de RCS debido al acople y desacople de impedancias que realiza el circuito integrado.

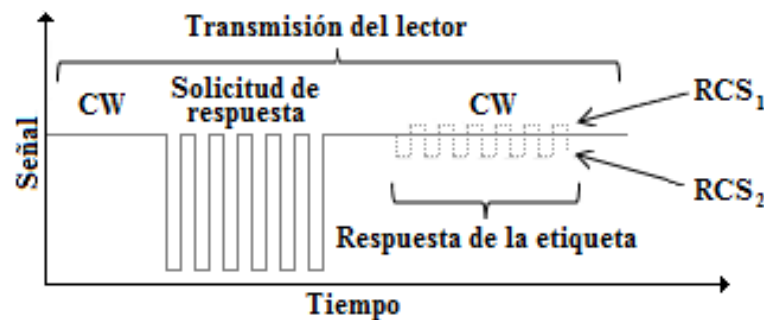


Figura 2.7. Intercambio de datos entre la etiqueta y el lector
Fuente: (Curty, Declercq, Dehollain, & Joehl, 2007)

2.4.2 Lector del sistema RFID etiquetas con chip.

Hoy día, los lectores RFID están compuestos por un sistema de antenas inteligentes, unidades de procesamiento digital de señales y un sistema embebido con Middleware y funciones de enrutamiento. Estas características permiten la fácil integración de los lectores RFID dentro de

las redes de datos, cumpliendo con los protocolos de transferencia de datos estandarizados. La figura 2.8 muestra el flujo de datos de la arquitectura de un sistema de RFID. Los lectores son dispositivos que realizan la interrogación de las etiquetas, además utilizan técnicas de demodulación de datos para extraer información de la señal enviada por la etiqueta.

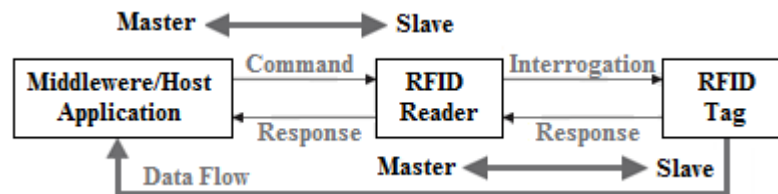


Figura 2.8. Modelo maestro-esclavo

Fuente: (Curty, Declercq, Dehollain, & Joehl, 2007)

El lector y las etiquetas están interrelacionados siguiendo un modelo maestro-esclavo donde el lector actúa como maestro y las etiquetas actúan como esclavos. Sin embargo, los lectores en sí mismos están en posición de esclavos. La aplicación de software, o Middleware, procesa los datos del lector, actuando como unidad maestra y enviando comandos a este. Un lector RFID (figura 2.9) está compuesto por tres partes principales: Sección de control, interfaz de alta frecuencia y la antena.

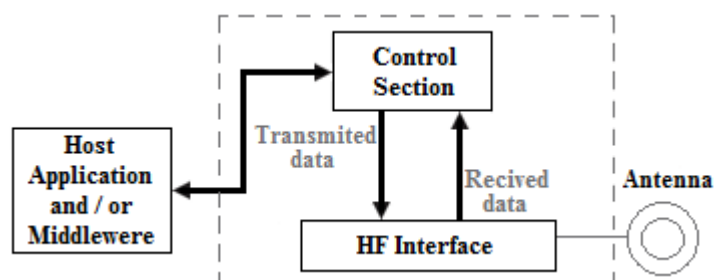


Figura 2.9. Diagrama en bloque de un lector RFID

Fuente: (Curty, Declercq, Dehollain, & Joehl, 2007)

La figura 2.10 muestra el diagrama en bloques de la sección de control del lector, en la cual se realiza el procesamiento digital de señales y el procesamiento sobre los datos recibidos del transpondedor.

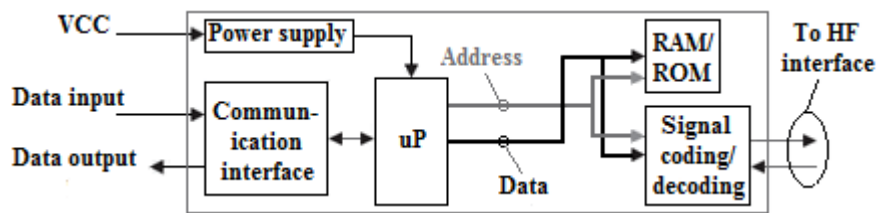


Figura 2.10. Diagrama en bloque de la sección de control

Fuente: (Curty, Declercq, Dehollain, & Joehl, 2007)

Además, esta sección posibilita la comunicación inalámbrica con la etiqueta RFID realizando modulación, procedimientos anti-colisión y decodificación de los datos de respuesta de la etiqueta. Estos datos son usualmente usados para interrogar las etiquetas (lectura) o para reprogramarlas (escritura). Esta sección normalmente está compuesta por un microprocesador, un bloque de memoria, un pequeño conversor analógico/digital y un bloque de comunicación con el software de aplicación.

La figura 2.11 muestra el módulo de la interfaz de HF, este se utiliza para la transmisión y recepción de la señal de RF y está compuesto por dos caminos separados para las señales correspondientes con los dos flujos direccionales de datos desde y hacia el transpondedor.

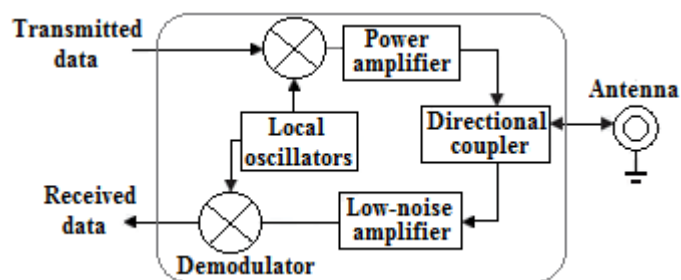


Figura 2.11. Diagrama en bloque de la sección de RF de un lector

Fuente: (Curty, Declercq, Dehollain, & Joehl, 2007)

El oscilador local genera la señal portadora de RF, un modulador modula la señal, la cual es amplificada por un amplificador de potencia para luego ser transmitida a través de la antena. Un acoplador direccional separa la parte de transmisión y la de recepción de la señal que llega de retorno

desde la etiqueta, este se compone por dos alambres homogéneos acoplados continuamente; y si todos los puertos están acoplados, la potencia de las señales de entrada y salida es dividida en el acoplador. La señal recibida de retorno es débil, inicialmente el amplificador de bajo ruido incrementa la amplitud de la señal y después la señal es decodificada en el demodulador. La interfaz HF es una de las secciones más complejas del lector.

Muchas interfaces HF son protegidas de la interferencia electromagnética usando encapsulados metálicos. Diferentes técnicas de demodulación son utilizadas para decodificar los datos recibidos del transpondedor. Muchos sistemas RFID operan usando modulación digital de fase binaria (BPSK) y modulación digital de amplitud (ASK).

El lector transmite una señal CW en la banda ISM de 2.4 GHz. Por tanto, la sección de transmisión no necesita ser conectada con la sección de control, como se muestra en la figura 2.9. La señal CW se amplifica con un amplificador de potencia y luego se transmite en dirección a la antena de la etiqueta.

2.4.3 Antenas del lector de RFID para etiquetas con chip.

Las antenas del lector (figura 2.12) son el componente más sensible de un sistema RFID. En la figura 2.13 se muestra una instalación típica de antenas, para una línea de empaque en a y para un portal en b. La mayoría de las antenas están alojadas en recintos que son fáciles de montar, y suelen verse como racks protegidos. Variar la ubicación de la antena del lector es una de las formas más fáciles de ajuste cuando se localizan y solucionan problemas de un sistema, y al mismo tiempo resulta una de las tareas más difíciles de llevar a cabo en forma correcta.

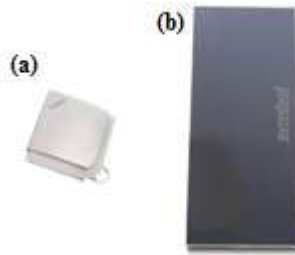


Figura. 2.12. Ejemplos de antenas del lector. a) Antena Symbol Direccional Dual b) Antena Industrial Symbol de alto desempeño
Fuente: (Chamarti & Varahramyan, 2006)

La antena del lector debe ser colocada en una posición donde tanto la transmisión de energía hacia la etiqueta, como la recepción de los datos emitidos sean óptimas. Debido a que existen regulaciones gubernamentales que limitan el nivel de potencia de un lector, la ubicación de las antenas es vital para alcanzar un alto grado de lectura.

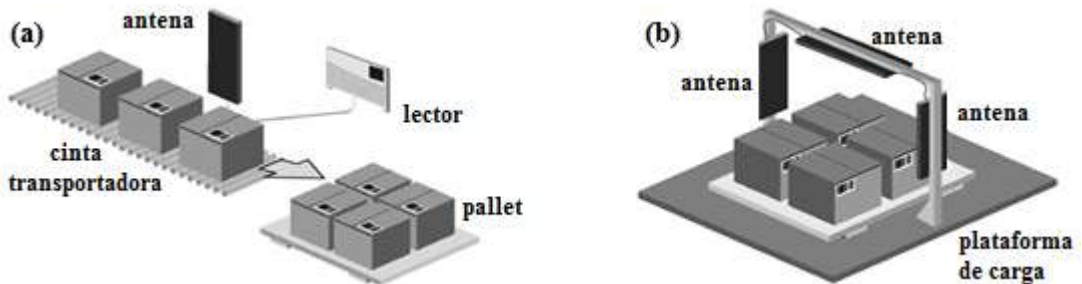


Figura 2.13. Configuración de antenas del lector. a) Cinta transportadora. b) Portal
Fuente: (Chamarti & Varahramyan, 2006)

Existen tres características de las antenas que contribuyen a la legibilidad de la etiqueta:

Patrón: Se refiere al campo de energía tridimensional creado por la antena, también conocido como el área de lectura.

Ganancia y atenuación: La ganancia de la antena de un lector se fija en relación a las regulaciones gubernamentales. No obstante, la señal puede

reducirse o atenuarse para limitar el rango de lectura de la etiqueta o para dirigirla sólo a las etiquetas que se desean leer.

Polarización: Se refiere a la orientación de la transmisión del campo electromagnético.

En general las antenas lineales proveen un rango de lectura más extenso, pero son más sensibles a la orientación de la etiqueta (figura 2.14a). Habitualmente son utilizadas en aplicaciones de lectura automática montadas sobre una cinta transportadora. En este caso, las etiquetas se aplicarían en envases con una orientación constante para maximizar su legibilidad.

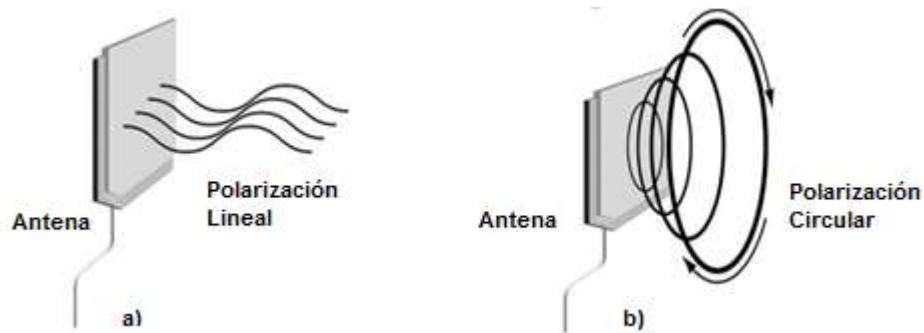


Figura 2.14. Polarización de la antena. a) Lineal. b) Circular

Fuente: (Chamarti & Varahramyan, 2006)

La polarización circular es creada por una antena diseñada para irradiar energía RF en diferentes direcciones simultáneamente (figura 2.14b). La antena ofrece mayor tolerancia a distintas orientaciones de la etiqueta y una mejor habilidad para evitar obstrucciones. Estas virtudes implican, a su vez, la reducción del rango y el foco de lectura.

Además, se debe tener en cuenta que en un sistema RFID, las antenas transmisoras y receptoras del lector y la etiqueta, presentan polarización cruzada; o sea, que la antena de transmisión del lector y la receptora del tag, tendrán polarización vertical y la receptora del lector y la transmisora del tag, tendrán polarización horizontal; para garantizar la mínima influencia

de la señal de interrogación en la señal transmitida por el tag (Preradovic, Balbin, Karmakar, & Swiegers, 2008).

Una o más antenas pueden ser conectadas a un lector, dependiendo de los requerimientos de cada aplicación. La antena es seleccionada basándose en la frecuencia y la aplicación específica (omnidireccional, direccional, etc.). La pérdida de sintonía o la debilitación de la señal pueden ocurrir debido a los siguientes factores: pérdidas debido a la proximidad de metales o líquidos, pérdida del cableado de la antena, pérdida de la señal, proximidad con otros lectores / antenas, variaciones ambientales, interferencia desde otras fuentes RF, campos de corriente, refracción de la señal, diálogos cruzados.

2.4.4 Antenas de las etiquetas en el sistema de RFID pasivo.

La antena de la etiqueta pasiva está relacionada con la aplicación, por ejemplo: el tipo de material al cual se adherirá la etiqueta, las dimensiones del objeto que se desea identificar y la frecuencia de operación. En forma general sus características pueden ser: delgadas, flexibles, con una impedancia estable (en la frecuencia de operación, con conectores adecuados al CI), tamaño reducido respecto a la longitud de onda, entre otros (Karmakar, 2010).

2.4.4.1 Ubicación de las etiquetas.

La ubicación y orientación de una etiqueta inteligente dentro del sistema de RFID es un aspecto crítico (figura 2.15). La composición del producto, la geometría del embalaje, los materiales contenidos en el embalaje, la carga de pallets y la proximidad y orientación con respecto a la antena del lector son variables que tienen que ser consideradas. A modo de ejemplo cabe destacar que en aplicaciones piloto de etiquetas inteligentes en embalajes

que contienen líquidos, una variación mínima de la ubicación de la etiqueta puede afectar significativamente la realización de la lectura.

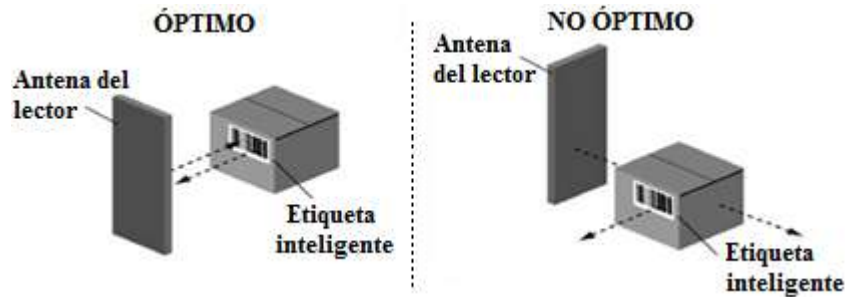


Figura 2.15. Ubicación adecuada de la etiqueta pasiva de RFID

Fuente: (Chamarti & Varahramyan, 2006)

Presentación de la Etiqueta: Al pasar a través de la ventana de lectura, la etiqueta idealmente debería encontrarse en el mismo plano que el de la antena (figura 2.16). La cara plana de la etiqueta debería ser paralela a la cara plana de la antena. Sin embargo, esto ha probado ser impráctico e inconsistente con las exigencias, los cuales requieren que la caja sea leída desde todos sus lados.



Figura. 2.16. Orientación adecuada de la antena de la etiqueta pasiva de RFID

Fuente: (Chamarti & Varahramyan, 2006)

El análisis de la caja y su ubicación deben ser tomados en cuenta para asegurar la lectura en todas las orientaciones. En aquellas aplicaciones donde la orientación de las cajas es impredecible, una etiqueta con antena bipolar proveerá mejores grados de lectura.

Las etiquetas ubicadas muy cerca de objetos metálicos, como latas de aluminio o láminas de metal, inutilizarán la acción de la antena. Una

selección apropiada del tipo de etiqueta y su ubicación es muy importante en embalajes que contienen metales. Algunas etiquetas inteligentes son diseñadas con sustratos de materiales que reducen los efectos del embalaje o las láminas de metal. Los espacios de aire diseñados dentro del embalaje de la caja pueden ayudar a minimizar la interferencia causada por elementos envueltos en láminas de metal en su interior.

2.5 Etiquetas pasivas sin chip

El concepto de etiqueta RFID pasiva sin chip (*chipless RFID tag*) parece ser una solución prometedora para el etiquetado de elementos a muy bajo costo. Con el objetivo de minimizar el costo de las etiquetas, éstas se fabrican totalmente impresas y sin circuito integrado. La codificación de datos sin chip se realiza por dos esquemas de codificación: reflectometría en el dominio del tiempo (TDR) y notación o sintonía espectral, por tanto, los *chipless* RFID que utilizan ondas de radio se clasifican en dos grupos: basados en el dominio del tiempo o en el dominio de la frecuencia.

2.5.1 Especificaciones para sistemas pasivos chipless RFID.

Estos requerimientos están determinados en gran medida por la aplicación que cubre el sistema de RFID:

Costo. El costo del sistema depende en gran medida del costo de los transpondedores. Las etiquetas pasivas de RFID necesitan ser extremadamente baratas (preferiblemente inferior a 1 centavo para ser costeable al etiquetar elementos de papel o plástico). Esto introduce restricciones en el diseño de las etiquetas y la selección del material para su construcción. Los conductores y dieléctricos típicos empleados son aluminio, cobre, tinta conductora y polyester o sustratos PCB respectivamente.

Tamaño. El tamaño de los transpondedores depende de la frecuencia de operación y del tamaño del elemento a etiquetar; debe ser de varios centímetros hasta aproximadamente 1 decímetro.

Banda de frecuencias. La banda de frecuencias de operación determina directamente la cantidad de bits que pueden utilizarse para la codificación. Por ejemplo, podría escogerse un sistema UWB; el espectro de frecuencias UWB varía de un país a otro (generalmente de 3.1 a 10.7 GHz, USA). Los sistemas UWB están restringidos por la cantidad de EIRP, el cual está en un nivel de ruido (inferior a -40dBm en exteriores y -50 dBm en interiores).

Rango de lectura. El rango mínimo de lectura requerido lo define la sensibilidad del lector, esto se debe completamente al hecho de que los chipless RFID no necesitan batería para su operación. Las principales limitaciones en el rango de lectura se producen por el bajo EIRP y la orientación.

Aplicación con movilidad. El sistema RFID pasivo está dirigido a aplicaciones de cinta transportadora con velocidades de 10 m/s. El efecto Doppler, en este caso, a 10.7 GHz (el peor de los casos para sistemas UWB) es menor de 400 Hz y no afecta la operación de las etiquetas. Sin embargo, los transpondedores pasan menos tiempo en la zona de interrogación, pero como estos no se comunican con sus lectores utilizando sincronización, este aspecto no presenta mayores consecuencias (Karmakar, 2010).

Confiabilidad. Los transpondedores RFID deben soportar variaciones de calor, humedad, sometimiento a procesos tales como impresión, inserción y laminación de la etiqueta. Se ha probado que la tinta conductora es extremadamente robusta manteniendo su robustez cuando se imprime sobre sustratos flexibles, necesario para aplicaciones como etiquetado de sobres o facturas.

Seguridad. Los sistemas de RFID pasivos pueden proveer una capa extra de seguridad contra falsificaciones usando tintas conductoras transparentes siendo impreso sin anuncio visible. Además, sería imposible leer múltiples etiquetas apiladas, un grupo de facturas etiquetadas no pueden ser leídas con precisión debido al acoplamiento mutuo y la incapacidad de diferenciar entre etiquetas o determinar el número de transpondedores.

2.5.2 Clasificación de las etiquetas pasivas sin chip (*chipless* RFID). Etiquetas basadas en TDR.

Para interrogar estas etiquetas, el lector envía una señal en forma de pulso y escucha los ecos que llegan de regreso desde la etiqueta. Los ecos llegan al lector en forma de un tren de pulsos que puede ser utilizado para codificar los datos. Se han reportado muchas etiquetas de RFID que emplean esta técnica de codificación de datos las cuales se pueden clasificar en etiquetas imprimibles y no imprimibles.

El transpondedor basado en ondas acústicas de superficie (SAW) desarrollado por RFSAW *Inc.* es un ejemplo de etiqueta no imprimible basada en TDR, el cual es muy exitoso comercialmente. Este se excita con un pulso gaussiano que envía el lector, centrado en 2.5 GHz. El pulso interrogador es convertido en una SAW utilizando un transductor interdigital (IDT). La SAW se propaga a través del cristal piezoeléctrico siendo reflejada por un grupo de reflectores, creando así, un tren de pulsos con variaciones de fase. El tren de pulsos se convierte de retorno en una onda electromagnética usando el IDT siendo finalmente detectado por el lector, donde se decodifica el identificador de la etiqueta.

Si bien las etiquetas SAW son totalmente funcionales y bien podrían reemplazar las etiquetas con chip, estas no ofrecen una solución de etiquetas totalmente imprimible debido a su naturaleza piezoeléctrica, la cual no podría ser impresa en billetes bancarios, sellos de correo u otros elementos hechos de papel o plástico. A continuación, se explica con mayor

profundidad las clasificaciones de mayor interés de las observadas en la figura 2.17 (Preradovic & Karmakar, 2012).

Etiquetas basadas en notación espectral. Codifican los datos dentro del espectro utilizando estructuras resonantes. Cada bit de datos se asocia normalmente con la presencia o ausencia de un pico de resonancia a una frecuencia determinada en el espectro. Estas etiquetas tienen la ventaja de ser robustas y totalmente imprimibles, así como grandes potencialidades para el almacenamiento de datos y muy bajos costos de producción. El inconveniente de estas etiquetas es que necesitan gran parte del espectro para la codificación de datos y un amplio ancho de banda dedicado al lector. Se pueden distinguir dos tipos de etiquetas basadas en notación espectral teniendo en cuenta su naturaleza: etiquetas químicas y etiquetas de circuitos planos. Figura 2.17

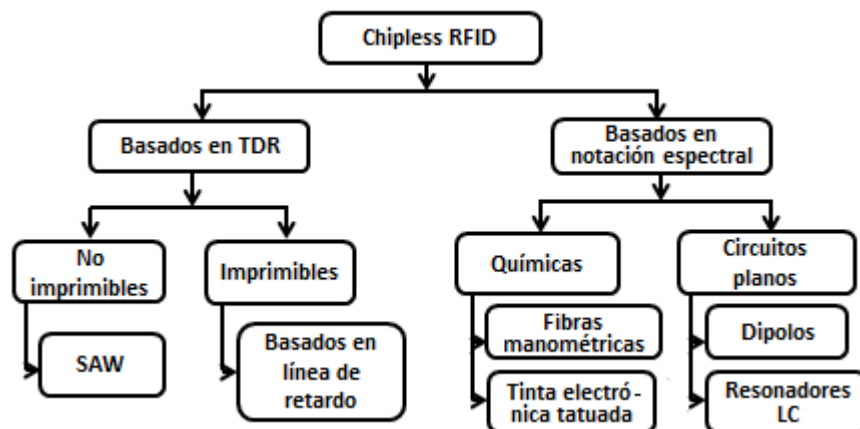


Figura 2.17. Clasificación de las etiquetas RFID pasivas

Fuente: (Karmakar, 2010)

Etiquetas pasivas con circuitos planos. Son diseñados utilizando estructuras resonantes como líneas de cinta y microcinta, y pueden estar compuestos por antenas, filtros y fractales. Son impresos sobre láminas delgadas y flexibles de sustratos polímeros. La etiqueta pasiva está constituida por un grupo de antenas dipolo, con resonancias a diferentes frecuencias. Cuando esta es interrogada por una señal de barrido en

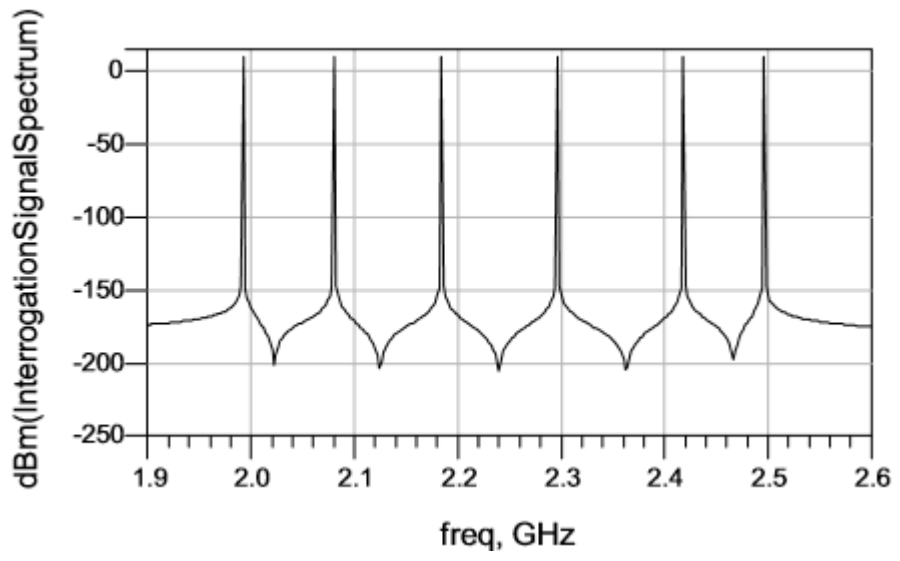
frecuencia, el lector observa disminuciones de amplitud en el espectro como consecuencia de los dipolos. Cada dipolo tiene una correspondencia 1:1 con los bits de datos. Los aspectos claves en relación a esta tecnología son: el tamaño de la etiqueta (a menor frecuencia mayor longitud de onda del medio dipolo) y el efecto de acoplamiento mutuo entre elementos dipolos.

2.5.3 Codificación espectral

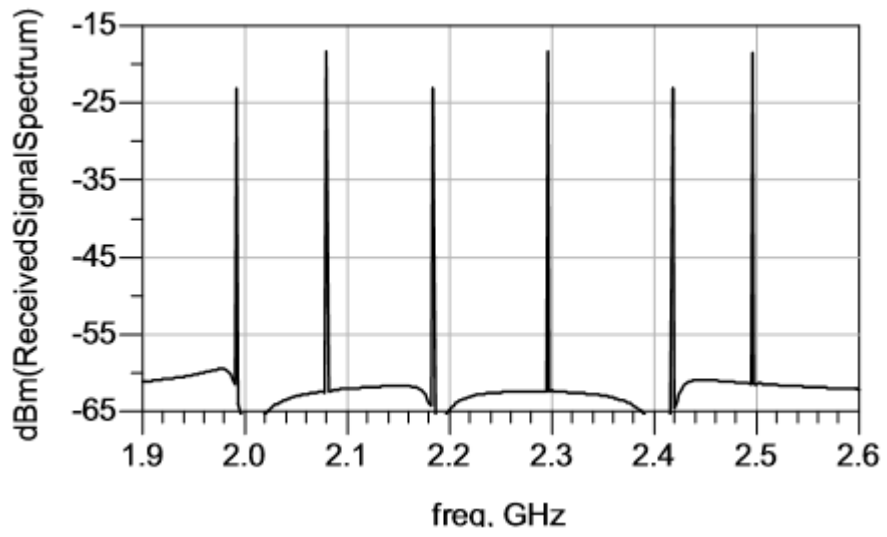
Han existido en la bibliografía varios criterios sobre cómo tratar la codificación en frecuencia, generando diversas opiniones sobre el tema. Todos están de acuerdo en que la antena transmisora codifica los datos en el espectro de frecuencias, por lo que tendrá una identificación única o “firma espectral”. Esta es obtenida interrogando a la etiqueta por una señal multifrecuencia y observando cuáles frecuencias son atenuadas y cuáles no.

Codificación espectral según Preradovic

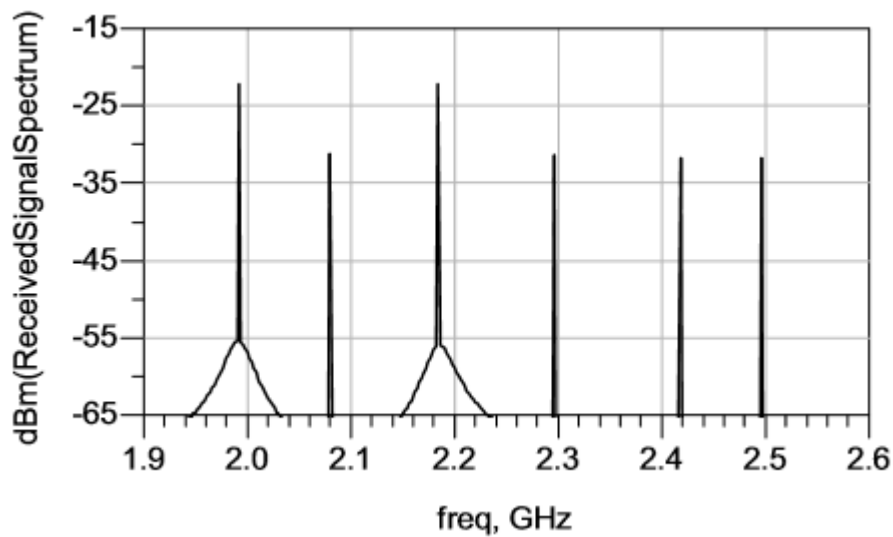
Una de las técnicas más usadas se describe en (Preradovic, Balbin, Karmakar, & Swiegers, 2008), en la cual se simula un sistema RFID a través del simulador ADS2005A DSP, donde un generador de señal emite una señal de interrogación de multi-frecuencia (Figura 2.18.a), con una Potencia Isotrópica Efectiva Radiada (EIRP) de 10dBm para todas las frecuencias. EIRP es la potencia aparente transmitida hacia el receptor, si se asume que la señal se irradia igualmente en todas direcciones. La etiqueta codifica esta señal mediante las atenuaciones en ciertas frecuencias correspondientes a resonancias del circuito resonador que se utilice, y se retransmite a la antena lectora receptora. En la Figura 2.18.b y 2.18.c se muestra ejemplos de dos tag con ID 010101 y 101000, respectivamente.



a)



b)



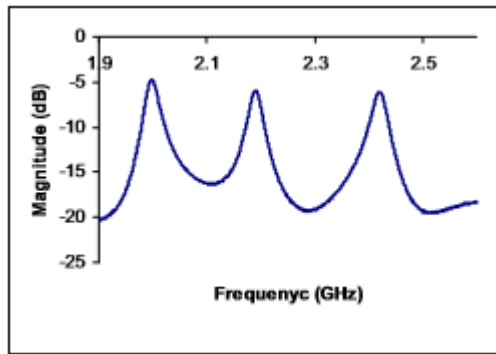
c)

Figura 2.18. Respuesta en frecuencia. a) Señal de interrogación multifrecuencia (EIRP = 10dBm), b) Señal transmitida por el tag con ID 01010, c) Señal transmitida por el tag con 101000

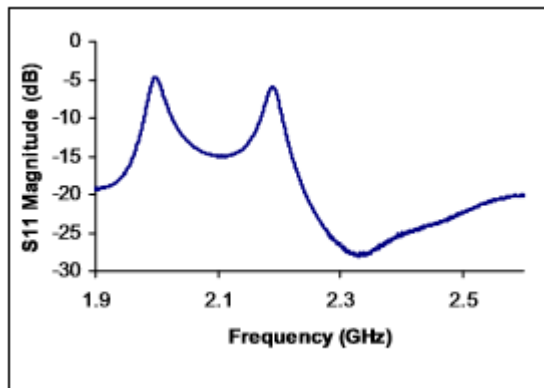
Fuente: (Preradovic, Balbin, Karmakar, & Swiegers, 2008)

Se puede observar en la figura. 2.18 b y 2.18 c que la amplitud de la señal de interrogación es modificada por el circuito resonante y retransmitida hacia la antena lectora receptora donde las firmas espectrales de los tag pueden ser extraídas. En otros trabajos se han concentrado en la variación de fase para obtener la firma espectral.

Esta variación de la amplitud de la señal incluso puede ser usada para crear una nueva firma espectral a partir de otra ya establecida. En la Figura 2.19 se muestran algunos ejemplos del ID de algunas etiquetas, cuyas frecuencias analizadas son 2,0; 2,1; 2,2; 2,3; 2,4 y 2,5 GHz; con su respectiva firma espectral, donde si la señal está atenuada a una frecuencia particular, entonces representa un “0” lógico, de lo contrario será un “1” lógico. Suponiendo, que la Figura 2.19.a corresponder a un tag con ID 101010, neutralizando algunas frecuencias que serían analizadas en el circuito receptor del sistema RFID, se puede obtener el tag con ID 101000 mostrado en la Fig. 2.19.b; a través de filtros, neutralizando el efecto de resonadores, etc.



a) Tag 101010



b) Tag 101000

Figura 2.19. Respuesta en frecuencia de algunas etiquetas

Fuente: (Preradovic, Balbin, Karmakar, & Swiegers, 2008)

Codificación espectral según (Sánchez, 2014)

La otra técnica que se mostrará es la recogida en (Sánchez, 2014) y en la cual básicamente su esencia es la misma que la mostrada anteriormente, pero que, en este caso, solo se tendrán en cuenta las ausencias de frecuencias de resonancias, tal como se muestra en la Figura 2.20.

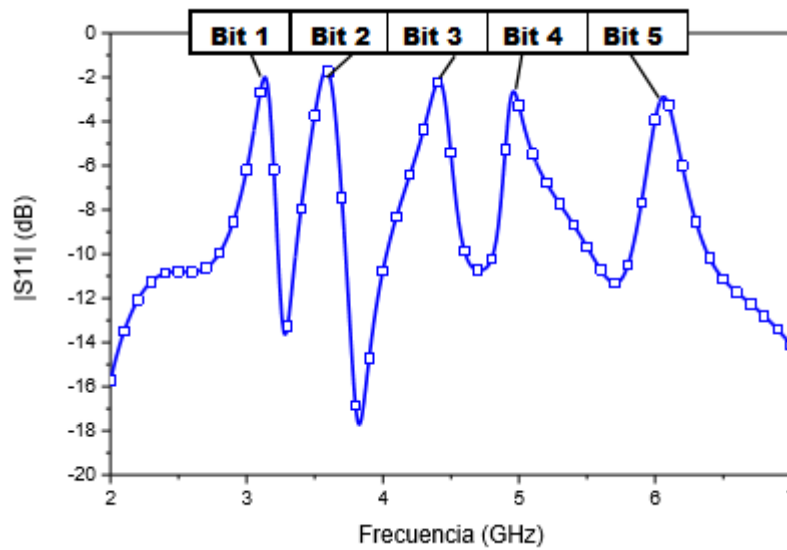


Figura 2.20. Respuesta en frecuencia de algunas etiquetas
 Fuente: (Sánchez, 2014)

En este caso no se analiza a ninguna frecuencia específica, sino que está centrado en las ausencias de resonancias, por lo que para lograr nuevos ID a partir de este, se tendrán que incorporar nuevas resonancias para lograr nuevos máximos locales. Esto sirve para aplicaciones donde se necesite poca demanda de la identificación espectral; y donde existan frecuencias de resonancias no estén definidas a una sola frecuencia, tal como se muestra en la Figura 2.21.

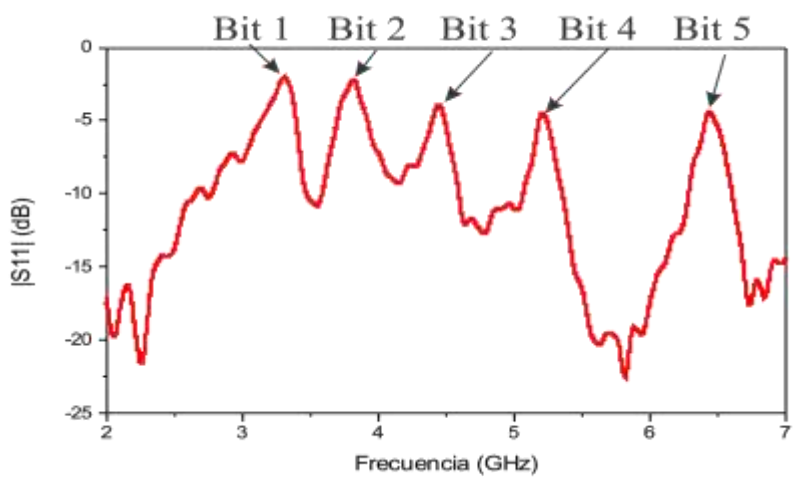


Figura 2.21. Respuesta en frecuencia de algunas etiquetas
 Fuente: (Sánchez, 2014)

En este trabajo se utilizará la identificación espectral según Preradovic, debido a las limitaciones que presenta Sánchez Mesa.

2.5.4 Lector para etiquetas pasivas sin chip.

Aunque lo ideal sería el uso de los lectores convencionales disponibles en el mercado, las nuevas etiquetas pasivas de RFID exigieron el desarrollo de un lector completamente nuevo. Las principales diferencias entre el lector desarrollado para *chipless* RFID y el lector convencional RFID disponible en los mercados, son las siguientes:

- Los lectores convencionales RFID operan mayormente en las bandas de HF (13.56 MHz), UHF (915 MHz), y de microondas (2.45 GHz), mientras el lector para *chipless* RFID opera fuera de estas bandas.
- Los lectores convencionales utilizan modulación ASK y BPSK, mientras el lector presentado descifra la etiqueta barriendo el espectro de frecuencias de microondas y adquiriendo la notación espectral de la misma.
- El lector propuesto puede procesar los datos de la etiqueta, aún después que la misma ha sido leída y ha abandonado la zona de interrogación, mientras los lectores convencionales requieren que la etiqueta esté en la zona de interrogación para la lectura, debido a los algoritmos de comunicación entre la etiqueta y el lector.

La sección digital y la sección de radiofrecuencia son las partes principales del lector RFID. En la figura 2.22 se muestra un diagrama en bloques del lector RFID pasivo. La unidad central de proceso (CPU) envía los datos a la sección de RF usando un conversor digital-analógico (DAC). Los datos analógicos se aplican como el voltaje sintonizador para el oscilador controlado por voltaje (VCO) que genera la señal de RF para interrogar la etiqueta pasiva.

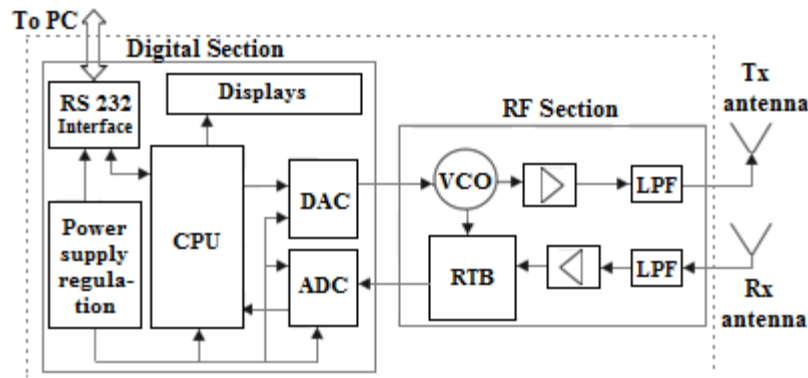


Figura 2.22. Diagrama en bloques de un lector de RFID pasivo

Fuente: (Chamarti & Varahramyan, 2006).

La señal recibida desde la etiqueta es amplificada y filtrada antes de ser enviada al circuito de conversión de RF a banda base (RTB), donde es convertida a un valor analógico de DC antes de ser enviada a la sección digital. La señal analógica de DC es luego convertida a una señal digital usando el convertor analógico/digital (ADC) y se envía a la CPU para la decodificación del identificador de la etiqueta, el cual se muestra en una sección de *display* siete segmentos y / o es enviado al ordenador (host) principal.

El corazón de la sección digital es el micro-controlador Atmel AT89C52 de 8 bits que realiza el procesamiento principal de la señal y los algoritmos de decodificación de datos. La sección de RF consta de dos caminos: transmisión y recepción.

El circuito transmisor está compuesto por un VCO que genera la señal de interrogación, que además se utiliza como referencia por el receptor. La señal de interrogación se amplifica, filtra y transmite por la antena direccional de banda ancha del lector. La señal de retorno desde la etiqueta se recibe por la antena receptora con polarización cruzada y se procesa (filtra y amplifica) antes de ser enviada al circuito RTB, el cual utiliza el detector de ganancia /fase AD8302 donde se compara la señal recibida con la señal de

CAPITULO 3. Diseño y simulación de una etiqueta pasiva de RFID sin chip en UWB

En este capítulo se presenta el diseño y simulación de una etiqueta pasiva sin chip, como muestra en la Figura 3.1. Está conformada por una antena receptora de banda ancha, un conjunto de resonadores que se encargan de crear la firma espectral (identificación) y una antena transmisora de banda ancha que transmite la información codificada.

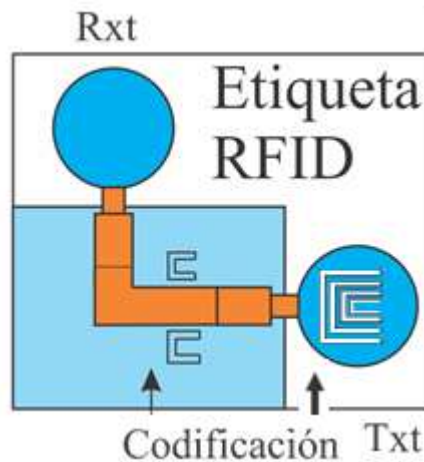


Figura 3.1. Etiqueta pasiva sin chip propuesta.
Elaborada por el Autor

En la elaboración se empleó el sustrato Rogers RO4003C, el cual tiene una permitividad dieléctrica relativa ($\epsilon_r = 3.55$), un espesor dieléctrico ($h=1.524$ mm) y una tangente de pérdidas ($\tan\beta=0.0027$), alimentación línea de microcinta y el programa de simulación Ansoft HFSSv15.0.3.

A continuación, se presentan los elementos que conformarán la etiqueta propuesta y los resultados obtenidos por simulación a través del software.

3.1 Diseño y simulación de la antena receptora

Se debe tener especial cuidado al seleccionar las antenas para la etiqueta RFID ya que de su correcta selección depende el desempeño de la etiqueta. Dicha antena debe cumplir con ciertos criterios, en primer lugar,

debe tener un ancho de banda muy grande con el fin de codificar suficiente información, necesaria para la identificación. En segundo lugar, el patrón de radiación debe ser prácticamente constante a lo largo de todo el ancho de banda y ser omnidireccional. Por último, la antena debe ser compacta y totalmente imprimible (plana).

En un sistema RFID pasivo la antena receptora se encarga de capturar la energía suministrada por el lector y así alimentar la etiqueta. En este trabajo se utiliza un monopolo circular UWB (Figura 3.2), cuyo principio de operación ya se estableció en el capítulo anterior, debido a que tiene un diseño simple y un gran ancho de banda, también se podría pensar en el dipolo UWB ya que tiene propiedades similares, pero su principal desventaja en comparación con los monopolos es que necesitan un circuito de adaptación de impedancias, esto conlleva al aumento del tamaño de la etiqueta.

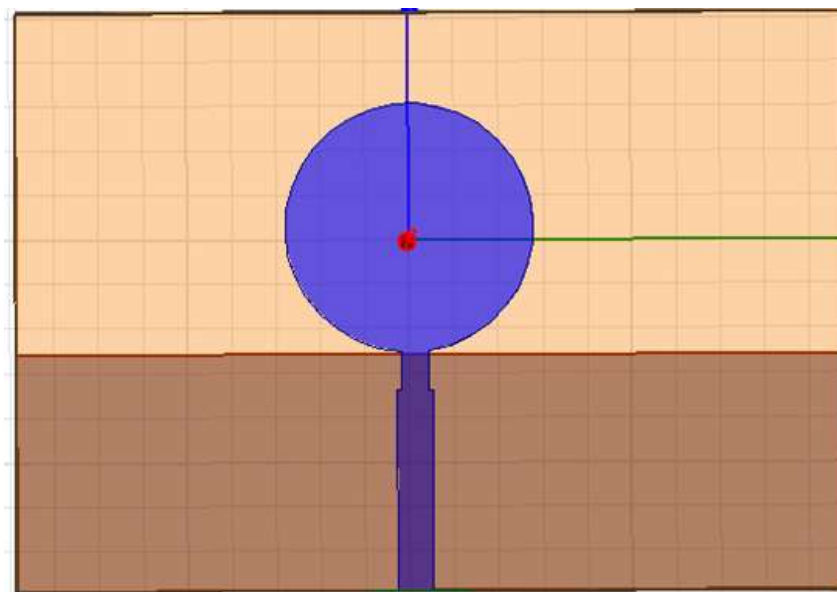


Figura 3.2. Diseño de la antena receptora de banda ancha.

Elaborada por el Autor

El desempeño de la antena depende completamente de los parámetros de diseño dominantes como el radio del disco y el ancho del plano tierra. El radio del disco determina la primera resonancia (modo fundamental), es

decir, la frecuencia a partir de la cual la antena debe funcionar de la manera deseada; el ancho del plano tierra se utiliza para el acoplamiento de la antena y con esto lograr pérdidas por retorno inferiores a -10dB.

Con las ecuaciones de la tabla 1.2, se determina el valor inicial del radio del disco de la antena (r); también se obtiene el valor inicial del largo y el ancho de la línea de alimentación. Sin embargo, al realizar las simulaciones, los resultados distan mucho de los de diseño, debido a que las fórmulas analíticas no incluyen muchos efectos (dependencia del sustrato con la frecuencia) difíciles de lograr a frecuencias entre 4 a 10GHz, por lo que es necesario realizar un barrido paramétrico de las dimensiones relevantes, como son el radio del disco y el largo y el ancho del plano tierra. En la tabla 3.1 se muestra los números finales de diseño, una vez realizado en proceso de optimización de dicha antena.

Tabla 3.1. Dimensiones finales de diseño

R	Lf	Wf	Lf2	Wf2	Lg	Wg	t1
14mm	22.5mm	4.4mm	6mm	3mm	26.5mm	93mm	2mm

Elaborada por el Autor

3.1.1 Pérdidas de Retorno

Como se muestra en la figura 3.3, las pérdidas de retorno se encuentran por debajo de los -10dB en el rango de frecuencia de interés, lo que indica que la antena solo refleja el 10% de la energía captada.

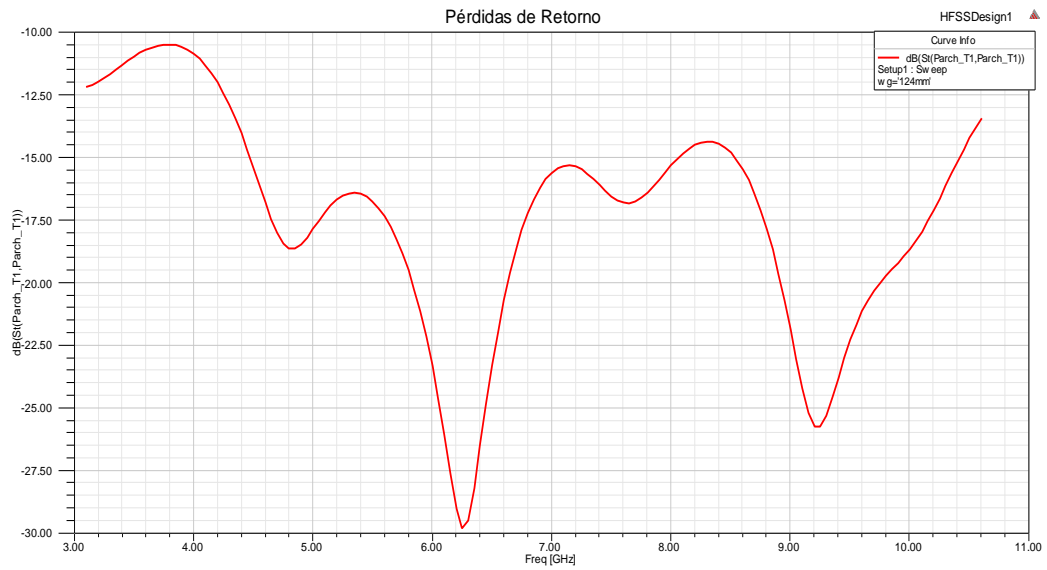


Figura 3.3. Respuesta en frecuencia de la antena receptora
Elaborada por el Autor

El radio del disco determina la primera frecuencia de resonancia, el tamaño del plano de tierra se utiliza para el acoplamiento de la antena y logrando pérdidas por retorno inferiores a -10dB durante todo el intervalo.

3.1.2 Ganancia

En la figura 3.4 se muestra la ganancia total de la antena, en la cual se obtiene excelentes resultados para la función que desempeña.

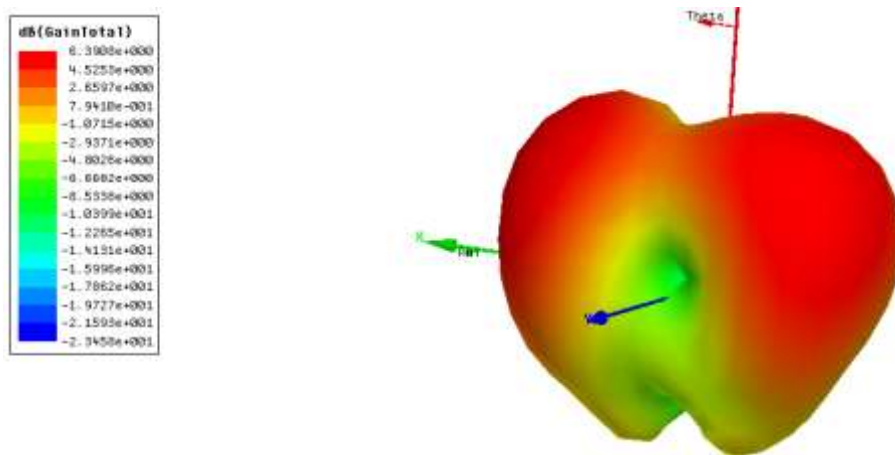


Figura 3.4. Ganancia total de la antena receptora
Elaborada por el Autor

3.1.3 Directividad

Al analizar la directividad se observa que abarca todo el rango de lectura del sistema RFID (Figura 3.5), obteniéndose buenos niveles de potencia en todas las direcciones que incluyen el rango de lectura.

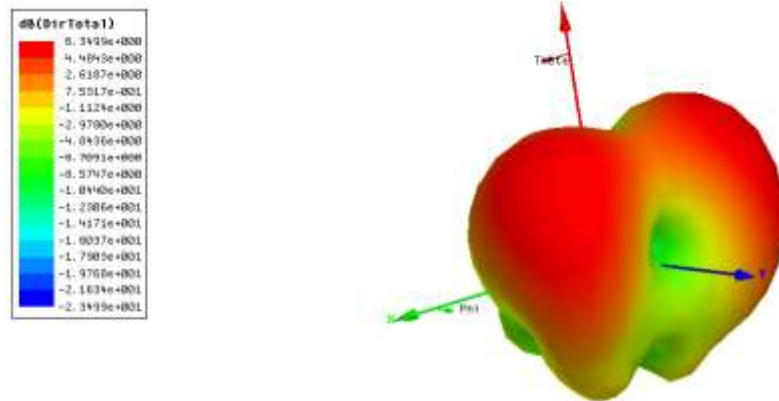


Figura 3.5. Directividad de la antena receptora.
Elaborada por el Autor

3.2 Diseño y simulación de la antena transmisora

Una forma de crear una firma espectral única para la etiqueta RFID es mediante sensores resonantes, los cuales son de fácil implementación. En este trabajo la identificación se realizó con un monopolo UWB de parche circular con las mismas dimensiones que la antena receptora, pero con el plano tierra modificado, y con ranuras en el disco y en el plano tierra, ya que al remover parte del conductor del elemento radiante se suprimen ciertas frecuencias en el ancho de banda.

3.2.1 Diseño del sistema de identificación

Se evaluaron diferentes geometrías para los resonadores, finalmente se selecciona el diseño en U debido a que su segunda resonancia se presenta a tres veces la frecuencia de resonancia fundamental ($3f_0$) lo cual que su segundo armónico queda por fuera del rango de frecuencias usado;

además que el rechazo de las frecuencias seleccionadas para la firma espectral es aceptable. Como se muestra en la figura 3.6.

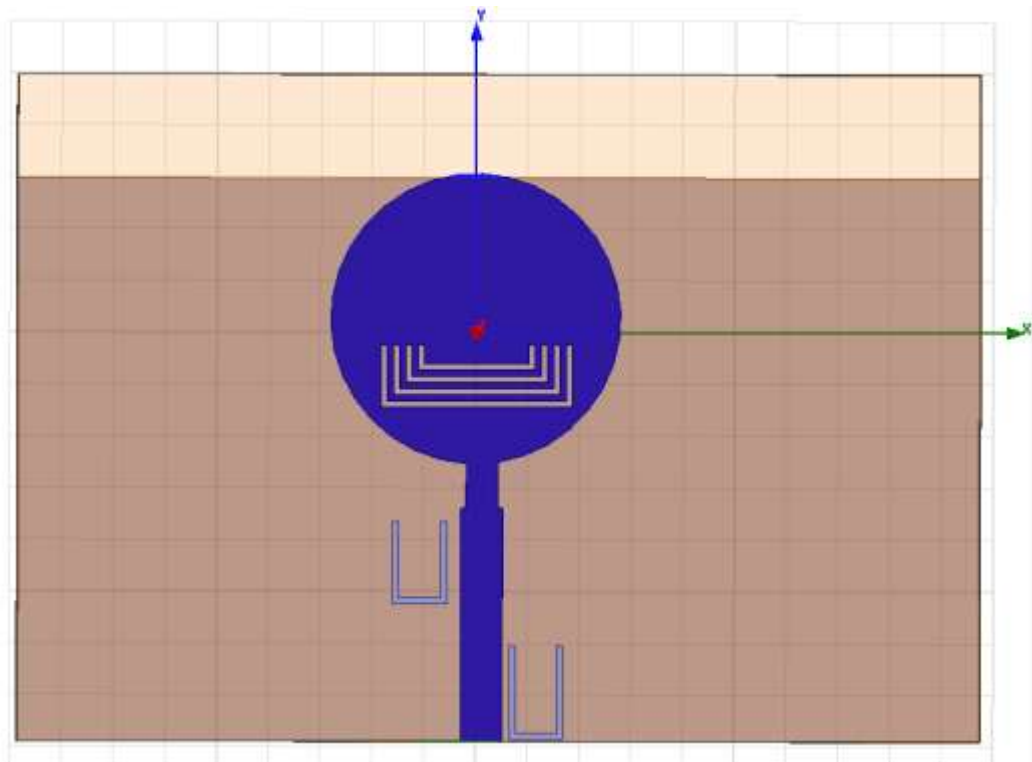


Figura 3.6. Antena transmisora.

Elaborada por el Autor

Esta etiqueta RFID tendrá 16 bits de identificación, por lo que se diseña la antena transmisora como un monopolo UWB, pero se le adicionan 6 resonadores que permiten la identificación de la etiqueta, 4 de ellos en el disco y los dos restantes al lado de la línea de alimentación del disco. Se debe subrayar que nunca antes se había reportado en la bibliografía cuatro ranuras en el disco de la antena, solo existía hasta tres, y cuyas aplicaciones se centraban como antenas tribanda; por lo que con este trabajo se logra la novedad de que, aparte de esta cantidad de resonadores en el parche, es la primera vez que se utiliza en este tipo de aplicaciones.

Las dimensiones de los resonadores luego del proceso de optimización se encuentran resumidas en la Tabla 3.2, donde D es la separación entre los resonadores en el disco del parche, W_r y L_r son el ancho y la longitud de

los resonadores, W_r es igual para todos los resonadores, pero L_r varía de acuerdo a la frecuencia que se desee rechazar.

Tabla 3.2. Dimensiones de los resonadores

D	W_r	Lr1 (disco)	Lr2 (disco)	Lr3 (disco)	Lr4 (disco)	Lr5 (tierra)	Lr6 (tierra)
0.6 mm	0.6 mm	29.2 mm	24.4 mm	19.6 mm	14.8 mm	20.75 mm	22.75 mm

Elaborada por el Autor

En la figura 3.7 se muestra las especificaciones de diseño.

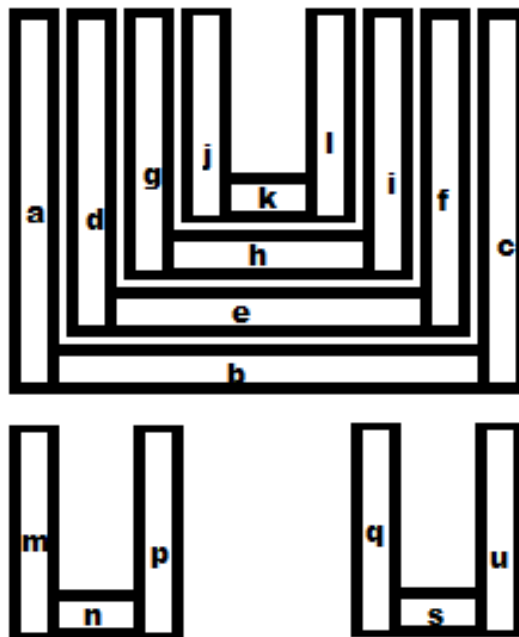


Figura 3.7. Especificaciones en el diseño de los resonadores.

Elaborada por el Autor

En la tabla 3.3 se pueden observar resumidas las especificaciones de las dimensiones de cada resonador. Tiene una columna que muestra la diferencia respecto a la longitud del primer resonador. Las dimensiones de este fueron escogidas de (Sánchez, 2014), y posteriormente se fueron incorporando más resonadores, donde se simuló independientemente cada

resonador en la antena transmisora y una vez concluida la optimización se pudo notar un cierto patrón en las dimensiones. Se debe aclarar que en la figura 3.7 se muestran los resonadores tipo U como la unión de tres partes, solo para exponer las dimensiones individualmente.

En los resonadores presentes en el disco de la antena, las longitudes verticales decrecen 1,2 mm y las longitudes horizontales decrecen 2,4 mm, ambos respecto a las longitudes del primer resonador.

Tabla 3.3. Especificaciones en el diseño de los resonadores

Variable	Longitud (mm)	Diferencia respecto al primer resonador (mm)	Variable	Longitud (mm)	Diferencia respecto al primer resonador (mm)
A	6	0	d	4,8	-1,2
B	17,2	0	e	14,8	-2,4
C	6	0	f	4,8	-1,2
G	3,6	-2,4	i	2,4	-3,6
H	12,4	-4,8	j	10	-7,2
I	3,6	-2,4	k	2,4	-3,6
M	8	2	q	9	4,2
N	4,8	-12,45	s	4,75	-12,45
P	8	2	u	9	4,2

Elaborada por el Autor

Primeramente, se simuló cada resonador individualmente en el monopolo UWB, para conocer su respuesta en frecuencia, y se fue incorporando por separado cada elemento al diseño hasta lograr los resultados deseados. Luego se simuló por separado las 4 ranuras en el disco de la antena y los dos resonadores en el plano tierra, siendo las respuestas en frecuencia, mostradas en las figuras 3.8 y 3.9 respectivamente.

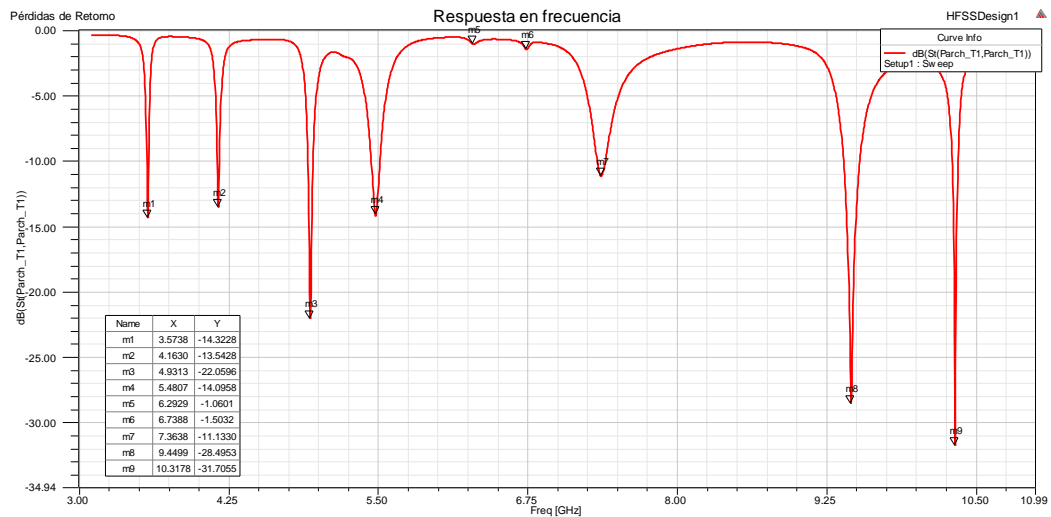


Figura 3.8. Respuesta en frecuencia de la antena transmisora con 4 ranuras en el disco.
Elaborada por el Autor



Figura 3.9. Respuesta en frecuencia de la antena transmisora con 2 resonadores en el plano tierra.
Elaborada por el Autor

En la tabla 3.4 se muestra entonces las frecuencias a las que resonaron las 4 ranuras presentes en el disco y los dos ubicados próximos a la línea de transmisión en el plano tierra.

Tabla 3.4. Frecuencias de resonancia de las 4 ranuras en el disco y los 2 resonadores en plano tierra, por separado.

Resonadores 1-4			Resonadores 5-6		
No.	Fr (GHz)	RL (dB)	No.	Fr (GHz)	RL (dB)
1	3,5738	-14,3228	1	6,5198	-18,2126
2	4,163	-13,5428	2	8,164	-12,2638
3	4,9313	-22,0596	3	9,223	-17,9167
4	5,4807	-14,0958			
5	7,3638	-11,133			
6	9,4499	-28,4953			
7	10,3178	-31,7055			

Elaborada por el Autor

Obtener varias frecuencias de resonancia es importante para aumentar la cantidad de bits posibles a usar en la identificación, debido a que, con estas 7, se tiene también 1 intervalo de máxima amplitud (ausencia de resonancia) entre 2 frecuencias, por lo que puede ser reconocido por la antena lectora en un sistema RFID. Este es el principal objetivo y la esencia del sistema de identificación.

En la tabla 3.5 se muestra finalmente las frecuencias de resonancia de la antena transmisora con sus 6 resonadores tipo U.

Tabla 3.5. Frecuencias de resonancia de la antena trasmisora

Antena		
No.	Fr (GHz)	RL (dB)
1	4,2187	-16,5265
2	5,0547	-14,6117
3	5,5205	-23,4321
4	7,2961	-11,6099
5	8,2118	-13,138
6	9,434	-26,6881
7	10,3218	-14,0036

Elaborada por el Autor

Como se puede observar se obtuvieron, luego el proceso de optimización, 7 frecuencias de resonancia. La figura 3.10 muestra las frecuencias de resonancia por separado de las ranuras en el disco, en la tierra y finalmente todos los resonadores integradas en la misma antena.

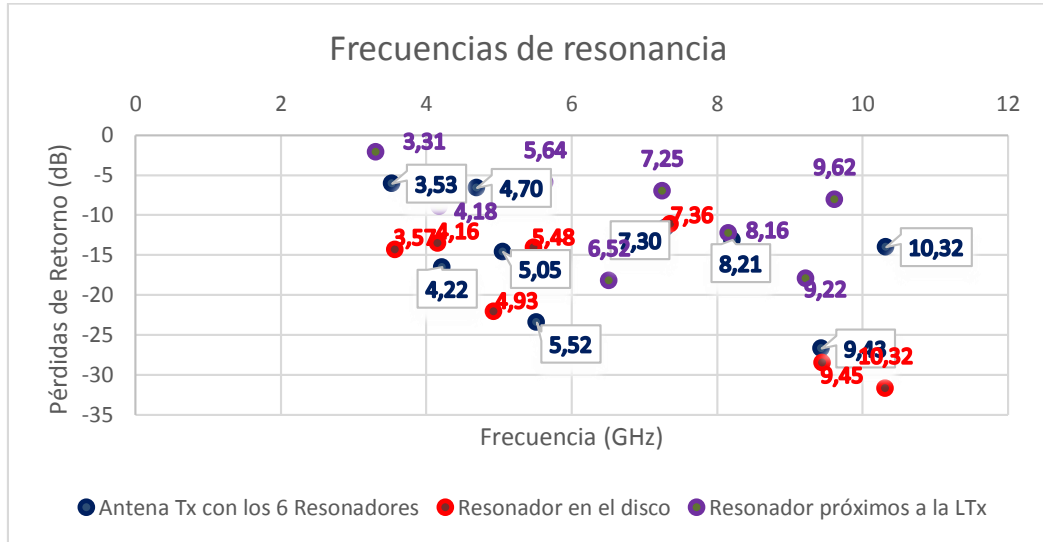


Figura 3.10. Localización de las frecuencias de resonancia según las tablas 3.4; 3.5 y otros mínimos obtenidos en las simulaciones por separado.

Elaborada por el Autor

De la figura anterior su puede observar como las frecuencias de resonancia de la antena transmisora, fueron aportadas por resonancias obtenidas en las simulaciones de los resonadores en el disco y en el plano tierra por separado, y también por mínimos locales en la señal que estuvieron por encima de -10 dB. En la figura 3.11 se muestra la respuesta en frecuencia de la antena transmisora con todos sus resonadores.

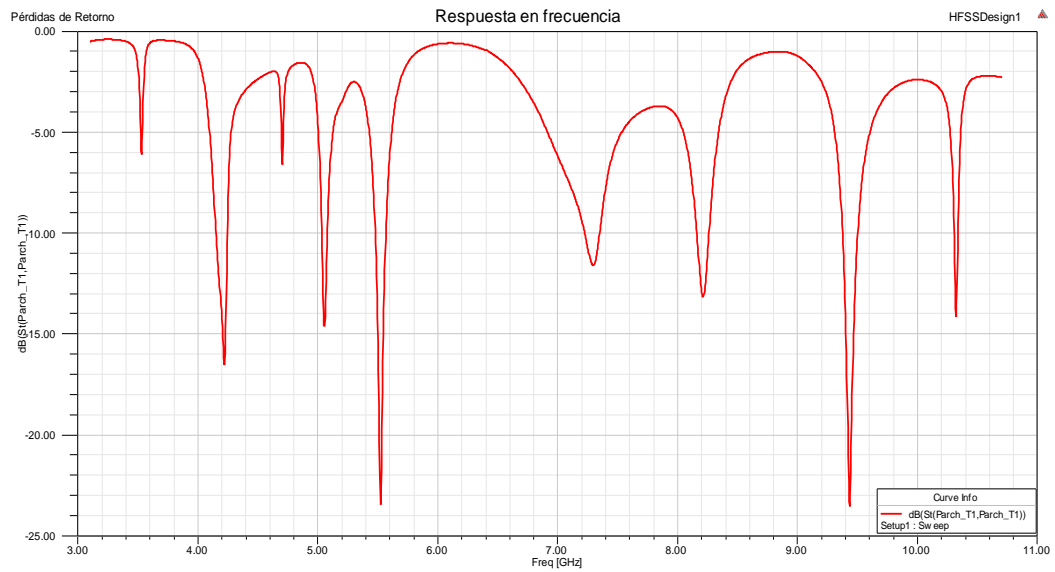


Figura 3.11. Respuesta en frecuencia de la antena transmisora

Elaborada por el Autor

La respuesta en frecuencia obtenida es muy satisfactoria, ya que permite obtener la firma espectral, identificándose de buena manera las frecuencias resonantes y los máximos locales de amplitud entre las mismas.

3.2.2 Ganancia

En la figura 3.12 se muestra la ganancia total de la antena transmisora, obteniéndose buenos resultados para la implementación en el sistema RFID de este trabajo.

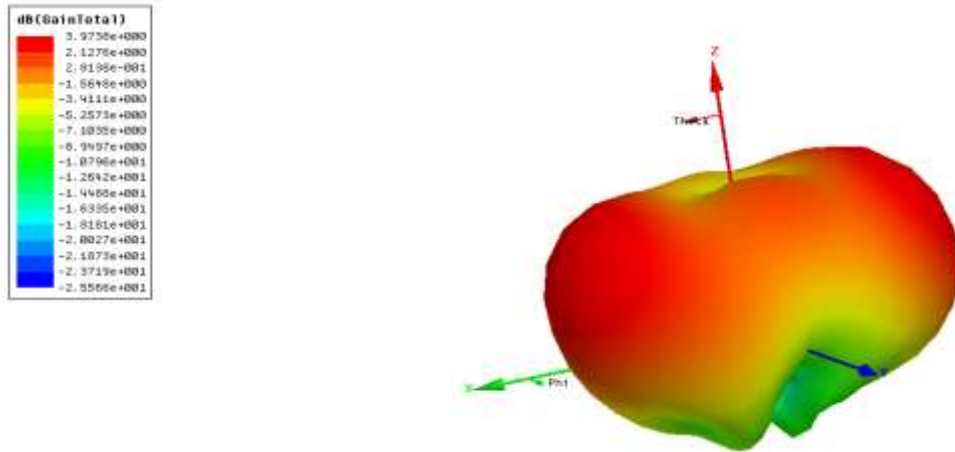


Figura 3.12. Ganancia total de la antena transmisora.

Elaborada por el Autor

3.2.3 Directividad

Al analizar la directividad (Figura 3.13) se observa que abarca todo el rango de lectura del sistema RFID, obteniéndose buenos niveles de potencia en todas las direcciones que incluyen el rango de lectura.

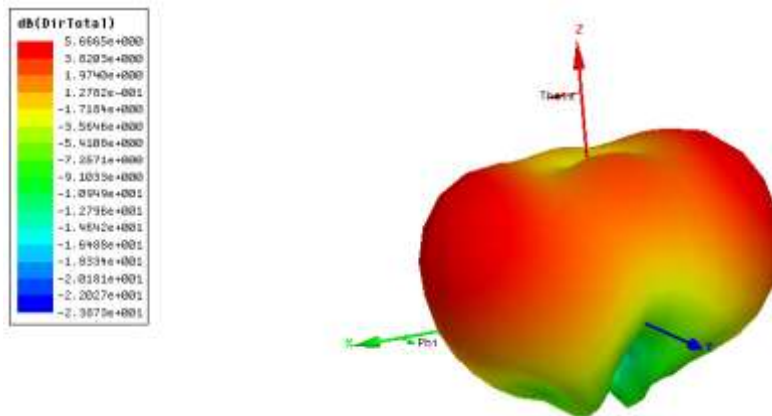


Figura 3.13. Directividad de la antena transmisora.

Elaborada por el Autor

3.2.4 Impedancia de entrada

La impedancia de entrada es la impedancia que presentará la antena en los terminales donde se conecta al equipo transmisor o receptor, mediante una línea de transmisión o circuito de acoplamiento. En la figura 3.14 y 3.15 se muestran las partes real e imaginaria, respectivamente, de la impedancia de entrada, donde se muestran los valores que posee a las frecuencias de resonancias de la antena.

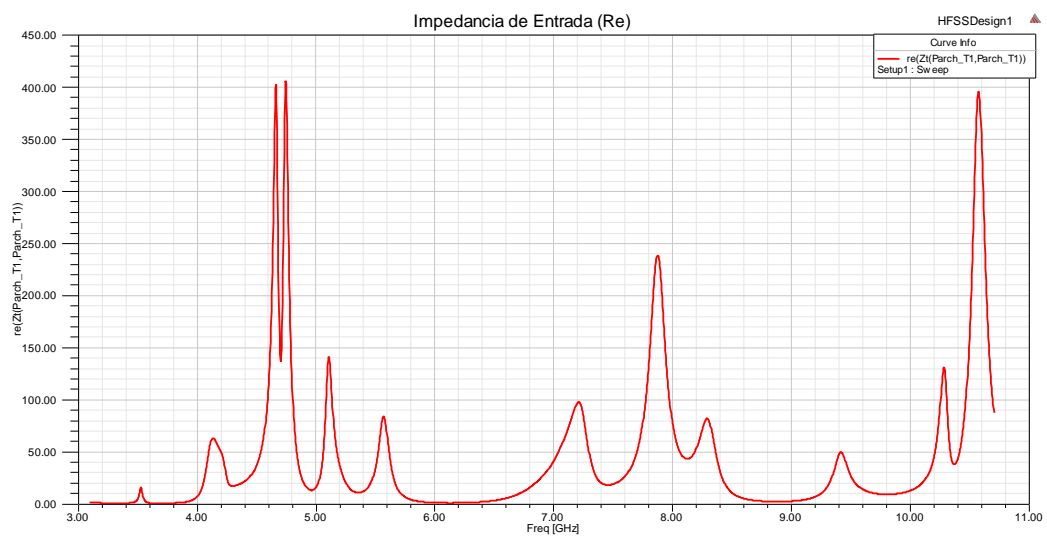


Figura 3.14 Impedancia de entrada. Parte real.

Elaborada por el Autor

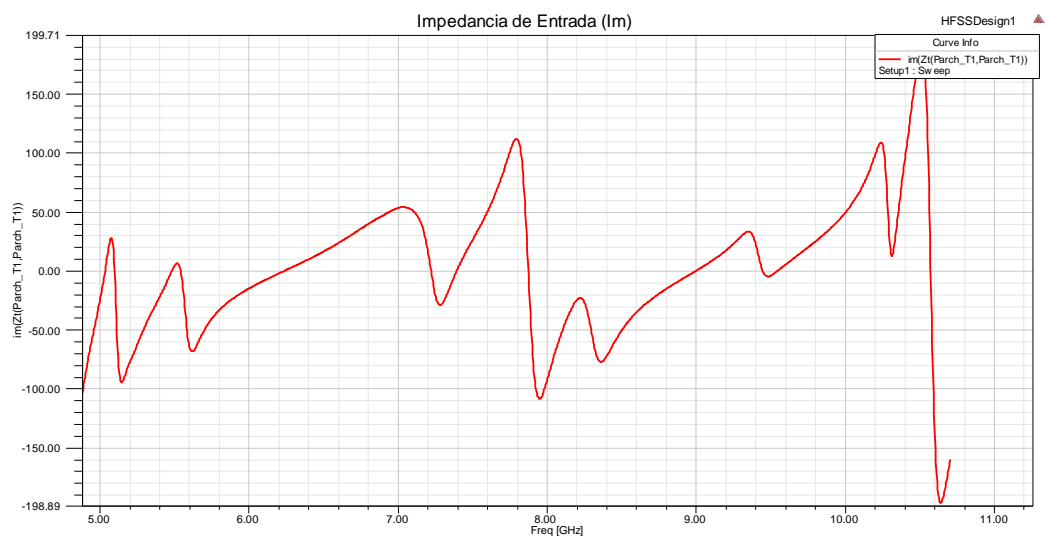


Figura 3.15. Impedancia de entrada. Parte imaginaria.

Elaborada por el Autor

Al analizarla impedancia de entrada en los puntos de resonancia, los valores se encuentran próximos a los valores ideales en ambas partes reales e imaginaria. En la tabla 3.6 se muestran dichos valores en forma resumida.

Tabla 3.6 Valores de la impedancia de entrada de la antena receptora

Impedancia de entrada		
Fr (GHz)	Re	Im
4,2187	45,3866	10,8785
5,0547	48,5862	6,2778
5,5205	49,8319	3,1656
7,2961	47,5562	-0,8596
8,2118	57,1970	-22,6718
9,4340	48,2316	1,3184
10,3218	49,8041	12,9089

Elaborada por el Autor

3.3 Codificación espectral

Para realizar la codificación espectral se debe analizar la respuesta en frecuencia de la antena transmisora, en la cual el lector encuesta basado en ciertas frecuencias particulares y analiza la presencia o ausencia de resonancias, aportando un “0” y un “1” lógicos respectivamente.

De la respuesta en frecuencia de la antena transmisora se puede observar lo siguiente:

- Existen 7 frecuencias de resonancia, pudiendo aportar 7 bits en nivel bajo (“0” lógico) a la identificación espectral.
- Existen dos mínimos locales en la señal por encima de los -10 dB (a 3,53 y 4,70 GHz), que no aportan a la identificación, ni deben constituir impedimento en la codificación.
- Existen 5 máximos locales de amplitudes entre la 2da y 7ma frecuencia de resonancia, a las frecuencias de 5,31; 6,08; 7,85; 8,83

y 9,99 GHz aportando a la identificación 6 bits en nivel alto (“1” lógico).

- Entre la 1ra y 2da resonancia existen 2 máximos locales de amplitudes a 4,59 y 4,86 GHz que aportan 2 bits a la identificación en nivel alto (“1” lógico), independientemente de que estén separadas por el mínimo local a 4,70 GHz, mencionado anteriormente.
- En el intervalo de 3,1 GHz a la 1ra frecuencia de resonancia, existe 2 máximos locales a 3,27 y 3,76 GHz, que aportan 2 bits a la identificación en nivel alto (“1” lógico), independientemente de que estén separadas por el mínimo local a 3,53 GHz, mencionado anteriormente.
- Al sumar la cantidad bits que se utilizará en la identificación, se tiene que son 16 bits; o sea, 2 byte, por lo que no se contará con el máximo local luego de la última frecuencia de resonancia.
- La firma espectral de la etiqueta será el siguiente código binario: “1101 1010 1010 1010”; tal como se muestra en la figura 3.16.

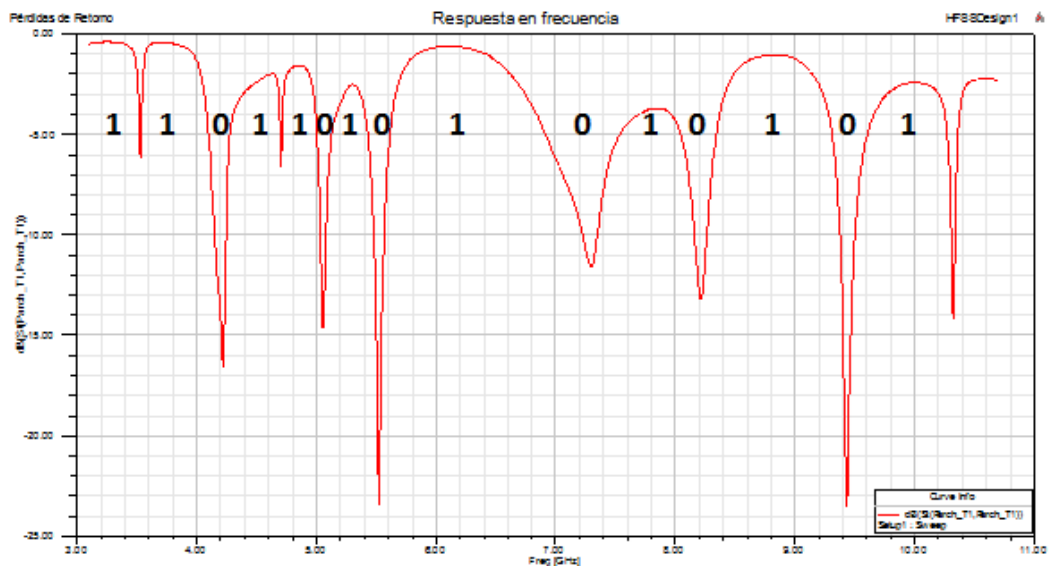


Figura 3.16. Codificación del espectro de frecuencias

Elaborada por el Autor

3.4 Proceso de decodificación

En el circuito receptor, una vez que la antena lectora ha interrogado a la etiqueta y recibido la señal codificada en frecuencia, se procede a la decodificación. El circuito receptor analiza la señal recibida ciertas frecuencias particulares, de las cuales analiza, la presencia o ausencia de resonancias (atenuaciones) en la señal. El bit "0" lógico corresponderá a la presencia de resonancia y el bit "1" lógico representará la ausencia de resonancia, todo esto a esas ciertas frecuencias particulares a analizar.

Las frecuencias particulares que el receptor tendrá que analizar de la señal recibida, según los resultados obtenidos en este trabajo, son los mostrados en la tabla 3.7.

Tabla 3.7 Frecuencias particulares para la decodificación de la señal recibida

No.	Frecuencia (GHz)	Observaciones	Bit que identifica
1	3,27	Máximo local (1)	1
2	3,76	Máximo local (2)	1
3	4,22	Frecuencia de resonancia (1)	0
4	4,59	Máximo local (3)	1
5	4,86	Máximo local (4)	1
6	5,05	Frecuencia de resonancia (2)	0
7	5,31	Máximo local (5)	1
8	5,52	Frecuencia de resonancia (3)	0
9	6,08	Máximo local (6)	1
10	7,30	Frecuencia de resonancia (4)	0
11	7,85	Máximo local (7)	1
12	8,21	Frecuencia de resonancia (5)	0
13	8,83	Máximo local (8)	1
14	9,43	Frecuencia de resonancia (6)	0
15	9,99	Máximo local (9)	1
16	10,32	Frecuencia de resonancia (7)	0

Elaborada por el Autor

Conclusiones

1. La etiqueta pasiva sin chip propuesta presenta grandes ventajas, es fácilmente reproducible (imprimible) y además cuenta con funciones de identificación a partir de componentes en microcinta lo que posibilita la producción por medio de impresoras con tinta de plata, de manera que se reduciría el costo a largo plazo.
2. La antena receptora presentó excelentes resultados en cuanto a ganancia y trabajo de operación en toda la banda de UWB, lográndose que captara el 90% de la energía que obtiene del medio, para poder transmitírsela a la antena transmisora.
3. Con la antena transmisora se logró la identificación espectral mediante 16 bits de información, gracias a las cuatro ranuras en el disco del parche y los dos resonadores ubicados próximos a la línea de alimentación, que aportaron a la codificación del espectro, siete frecuencias de resonancias y nueve máximos locales en la señal.

Recomendaciones

1. Realizar el diseño de filtros supresores de banda que se pudieran incorporar a la etiqueta para obtener nuevos ID.
2. Incorporar al diseño de la etiqueta, un sensor de microondas, para controlar además los cambios de parámetros como temperatura y humedad, a través de las variaciones de la permitividad efectiva.

Referencias bibliográficas

- Attaran, A., & Rashidzadeh, R. (2016). Chipless Radio Frequency Identification Tag for IoT Applications. *IEEE Internet of Things Journal*. Volume: 3, Issue: 6, 1310 - 1318.
- Balanis, C. (2005). *Antenna Theory, Analysis and Design*. New Jersey: Jhon Wiley & Sons.
- Betancourt, D., Haase, K., Hübler, A., & Ellinger, F. (2016). Bending and Folding Effect Study of Flexible Fully Printed and Late-Stage Codified Octagonal Chipless RFID Tags. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*. Volume: 64, Issue: 7, 2815 - 2823.
- Betancourt, D., Nair, R., Haase, K., Schmidt, G., Bellmann, M., Höft, D., . . . Ellinger, F. (2015). Square-shape fully printed chipless RFID tag and its applications in evacuation procedures. *9th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP)*.
- Blischak, A. T., & Manteghi, M. (2011). Embedded Singularity Chipless RFID Tags. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*. Volume: 59, Issue: 11, 3961 - 3968.
- Cardama, Á., Roca, L. J., Rius, J., Romeu, J., Blanch, S., & Ferrando, M. (2002). *Antenas*. Barcelona: UPC.
- CCIP. (2005). *RFID: The State of Radio Frequency Identification (RFID) Implementation and Policy Implications*. Obtenido de IEEE-USA Communications & Information Policy Committee (CCIP): <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?partnum=6978775&searchProductType=IEEE%20USA%20Books%20%20eBooks>
- Chamarti, A., & Varahramyan, K. (2006). Transmission delay line based ID Generation Circuit for RFID Applications. *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*. Volume: 16, Issue: 11, 588-590.
- Chen, Z. (2007). *Antennas for Portable Devices*. John Wiley & Sons, Ltd.

- Colectivo de autores. (2007). *Redes Inalámbricas en los Países en Desarrollo*. Obtenido de Limehouse Book Sprint Team: <http://wndw.net/pdf/wndw2-es/wndw2-es-ebook.pdf>
- Costa, F., Genovesi, S., & Monorchio, A. (2013). A Chipless RFID Based on Multiresonant High-Impedance Surfaces. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*. Volume: 61, Issue: 1, 146-153.
- Curty, J.-P., Declercq, . M., Dehollain, C., & Joehl, N. (2007). *Design and Optimization of Passive UHF RFID Systems*. New York: Springer.
- Feng, Y., Xie, L., Chen, Q., & Zheng, L.-R. (2015). Low-Cost Printed Chipless RFID Humidity Sensor Tag for Intelligent Packaging. *IEEE Sensors Journal*. Volume: 15, Issue: 6, 3201 - 3208.
- González, F. (2008). *Diseño de antenas impresas de banda ancha y polarización circular para sistemas Wimax* . Madrid: Universidad Autónoma de Madrid .
- Haraz, O., Ashraf, M., Alshebili, S., AlShareef, M., & Behairy, H. (2016). Design of UWB chipless RFID tags using 8-bit open circuit stub resonators. *17th International Symposium on Antenna Technology and Applied Electromagnetics (ANTEM)*.
- Hartmann, C. (2002). A global SAW ID tag with large data capacity. *Proceedings Ultrasonics Symposium IEEE*, 65-69.
- Karmakar, N. (2010). *Handbook of Smart Antennas for RFID Systems*. New Jersey: Wiley.
- Kim, J., Wang, Z., & Kim, W. S. (2014). Stretchable RFID for Wireless Strain Sensing With Silver Nano Ink. *IEEE Sensors Journal*. Volume: 14, Issue: 12, 4395 - 4401.
- Nair, R., Barahona, M., Betancourt, D., Schmidt, G., Bellmann, M., Höft, D., . . . Ellinger, F. (2014). A fully printed passive chipless RFID tag for low-cost mass production. *8th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP)*.
- National Instruments. (2016). *The State of Radio Frequency Identification (RFID): Introduction to the RFID Industry*. Obtenido de www.ni.com: <http://www.ni.com/white-paper/4308/en/>

- Nijas, C., Dinesh, R., Deepak, U., Rasheed, A., Mridula, S., Vasudevan, K., & Mohanan, P. (2012). Chipless RFID Tag Using Multiple Microstrip Open Stub Resonators. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*. Volume: 60, Issue: 9, 4429 - 4432.
- Plessky, V., & Reindl, L. (2010). Review on SAW RFID tags. *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control*. Volume: 57, Issue: 3, 654-668.
- Pozar, D. (1998). *Microwave Engineering* (4th ed.). John Wiley & Sons, Inc.
- Preradovic & Karmakar. (2012). *Multiresonator -Based Chipless RFID*. New York : Springer Science+Business Media.
- Preradovic, S., & Karmakar, N. (2010). Chipless RFID: Bar Code of the Future. *IEEE Microwave Magazine*. Volume: 11, Issue: 7, 87-97.
- Preradovic, S., Balbin, I., Karmakar, N., & Swiegers, G. (2008). A Novel Chipless RFID System Based on Planar Multiresonators for Barcode Replacement. *IEEE International Conference on RFID*, 289-296.
- Rezaiesarlak, R., & Manteghi, M. (2014). Complex-Natural-Resonance-Based Design of Chipless RFID Tag for High-Density Data. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*. Volume: 62, Issue: 2, 898 - 904.
- Sánchez, R. (2014). *Etiqueta pasiva de RFID sin chip para sensado de materiales*. Obtenido de Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica:
<https://www.repositorionacionalcti.mx/recurso/oai:inaoe.repositorioinstitucional.mx:1009/193>
- Sandoval, F. (2009). *Antenas Microcinta o Patch: Introducción*. . Obtenido de <http://fralbe.com>: Fralbe: <http://fralbe.com/2009/02/02/antenas-microcinta-introduccion/>
- Shao, B. (2014). *Fully Printed Chipless RFID Tags towards Item-Level Tracking Applications*. Obtenido de www.diva-portal.org:
<http://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A700169&dswid=article>

Shao, B., Chen, Q., Li, R., & Zheng, L.-R. (2012). Design of fully printable and configurable chipless RFID tag on flexible substrate. *Microwave and Optical Technology Letters*, 226-230.

GLOSARIO

ADC	Analog-to-Digital Converter, Conversor Analógico/Digital
ASK	Amplitude-Shift Keying, Modulación por desplazamiento de amplitud
BPSK	Binary Phase Shift Keying, Modulación Digital de Fase Binaria
BW	Wide Band, Ancho de Banda
BWR	Bandwidth Ratio, Razón de ancho de banda
CPU	Central Processing Unit, Unidad Central de Proceso
CW	Continuous Wave, Onda continua
DAC	Digital to Analogue Converter, Conversor Digital-Analógico
DC	Direct Current, Corriente Directa
DSP	Digital Signal Processor, Procesador Digital de Señales
EIRP	Effective (equivalent) Isotropic Radiated Power, Potencia Isotrópica Radiada Equivalente
FCC	Federal Communications Commission, Comisión Federal de Comunicaciones
FDTD	Finite Difference Time Domain, Diferencias Finitas en el Dominio del Tiempo
FEM	Finite Element Method, Método de los Elementos Finitos
HF	High Frequency, Frecuencia Alta
IDT	Interdigital transducer, Transductor Interdigital
ISM	Industrial, Scientific and Medical, Industrial, Científica y Médica
ISO/IEC	International Organization for Standardization/International Electrotechnical Commission
IZ	Interrogation Zone, zona de interrogación
PCB	Printed Circuit Board, Placa de Circuito Impreso
RCS	Radar Cross-Section, Sección transversal de radar
RF	Radio Frequency, Radiofrecuencia
RFID	Radio Frequency Identification, Identificación por Radiofrecuencia
RTB	Red Telefónica Básica

SAW	Surface Acoustic Wave, Onda Acústica Superficial
TDR	Time Domain Reflectometry, Reflectometría de dominio de tiempo
UHF	Ultra High Frequency, Frecuencia Ultra Alta
UWB	Ultra Wide Band, Ultra Banda Ancha
VCO	Voltage-Controlled Oscillator, Oscilador Controlado por Voltaje
WSN	Wireless Sensor Networks, Redes de Sensores Inalámbricos



**Presidencia
de la República
del Ecuador**



**Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes**



SENESCYT
Secretaría Nacional de Educación Superior,
Ciencia, Tecnología e Innovación

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Castillo del Pezo Efrén Antonio**, con C.C: # **0916318496** autor/a del trabajo de titulación: **Diseño de una etiqueta pasiva sin chip para aplicaciones RFID en UWB**, previo a la obtención del título de **Magister en Telecomunicaciones** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, a los 31 días del mes enero año 2018

f. _____

Nombre: **Castillo del Pezo Efrén Antonio**

C.C: **0916318496**

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA			
FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN			
TÍTULO Y SUBTÍTULO:	Diseño de una etiqueta pasiva sin chip para aplicaciones RFID en UWB		
AUTOR(ES)	Castillo del Pezo Efrén Antonio		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Philco Asqui Orlando, Bohórquez Escobar Celso / Córdova Rivadeneira Luis		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Sistema de Posgrado		
CARRERA:	Maestría en Telecomunicaciones		
TÍTULO OBTENIDO:	Magister en Telecomunicaciones		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	31 de mes enero de 2018	No. DE PÁGINAS:	84
ÁREAS TEMÁTICAS:	Antenas, Sistemas RFID, Microcintas, Parches, Etiquetas pasivas		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	RFID, UWB, firma espectral		
RESUMEN/ABSTRACT: En el presente trabajo se propone el diseño de una etiqueta pasiva sin chip para aplicaciones de Identificación por Radiofrecuencia (RFID) en Ultra Banda Ancha (UWB). En el Capítulo 1 se aborda la teoría de las antenas de microcintas y sus especificaciones de diseño en banda ancha. En el Capítulo 2 se esbozan los fundamentos de la Identificación por Radiofrecuencia, su utilización en aplicaciones de UWB y se explican el uso de la identificación espectral en esta tecnología. En el Capítulo 3 se propone el diseño de la etiqueta; se simulan individualmente las antenas receptora y transmisora, junto a las ranuras en el plano tierra y en el elemento radiante para obtener la firma espectral, en el intervalo de 3,1 a 10,7 GHz. Este trabajo es exploratorio al explorar las características de una etiqueta pasiva sin chip para aplicaciones RFID en UWB y es descriptivo al analizar y evaluar las tecnologías para implementar estos sistemas y determinar los parámetros óptimos según sus necesidades. Se aplica el paradigma empírico-analítico y un enfoque cuantitativo al emplear cálculos matemáticos en el diseño. Esta investigación es experimental porque se alteran las variables aplicadas para realizar el análisis respectivo.			
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593-987210637	E-mail: eant1@hotmail.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE)::	Nombre: Romero Paz Manuel de Jesús		
	Teléfono: +593-994606932		
	E-mail: manuel.romero@cu.ucsg.edu.ec		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			