



SISTEMA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

TEMA:

**“DISEÑO Y EVALUACIÓN DE SUPERFICIES SELECTIVAS EN
FRECUENCIA PARA ETIQUETAS PASIVAS DE RFID SIN CHIP”**

AUTOR:

CARRERA FERNANDEZ ROLANDO EDISON

**Previo a la obtención del grado de
Magister en Telecomunicaciones**

TUTOR:

MSc. Manuel Romero Paz

Guayaquil, a los 25 días del mes junio del año 2020



**SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES**

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por **Rolando Edison Carrera Fernández** como requerimiento parcial para la obtención del Título de Magíster en Telecomunicaciones.

TUTOR

MSc. Manuel Romero Paz

DIRECTOR DEL PROGRAMA

MSc. Manuel Romero Paz

Guayaquil, a los 25 días del mes junio del año 2020



**SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

YO, Rolando Edison Carrera Fernández

DECLARO QUE:

La Tesis “**Diseño y evaluación de superficies selectivas en frecuencia para etiquetas pasivas de RFID sin chip**” 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 25 días del mes junio del año 2020

EL AUTOR

Rolando Edison Carrera Fernández



**SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES**

AUTORIZACIÓN

YO, Rolando Edison Carrera Fernández

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación**, en la biblioteca de la institución de la Tesis de Maestría titulada, “**Diseño y evaluación de superficies selectivas en frecuencia para etiquetas pasivas de RFID sin chip**”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 25 días del mes junio del año 2020

EL AUTOR

Rolando Edison Carrera Fernández

REPORTE URKUND



The screenshot displays the URKUND web interface. At the top, the browser address bar shows the URL: www.arkund.com/arkund/61937910-89347-29759461841Vayj207G20DE168310E3m9XG3MteMyuQdChyQWwDyA9NwVdEIMy6MLuPRkFAA. The page header includes the URKUND logo and the user name "Luis Córdova Rivas".

Documento: Trabajo Rolando Carrera y Edson CARRERA

Presentado: 2020-02-13 17:44:02:50

Presentado por: Luis Córdova Rivas rivas.l (cordova@ynsa.com)

Recibido: luis.cordova.lucg@ynsa.arkund.com

de estos 36 págs., la componen de esta presente en 3 Fuentes.

Lista de Fuentes:

Categoría	Enlace/nombre de archivo
	T.I.1.Nov.docx
	Trabajo de Rolando Pedro Santos.docx
	Cuesta y evaluación de filtros de ruido basados en fractales y resonancias
	CURLA-2000

SISTEMA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

TEMA: "DISEÑO Y EVALUACIÓN DE SUPERFICIES SELECTIVAS EN FRECUENCIA PARA ETIQUETAS PASIVAS DE RFID SIN CHIP"

AUTOR: CARRERA FERNÁNDEZ ROLANDO EDSON

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

TUTOR: MSc. Marisol Romero Paz

Escayola, a los 22 días del mes de febrero del 2020

SISTEMA DE POSGRADO MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

CERTIFICACIÓN: Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por Rolando Edson Carrera Fernández como requerimiento parcial para la obtención del Título de Magister en Telecomunicaciones.

TUTOR:

Dedicatoria

En primer lugar, agradezco a Dios porque gracias a su voluntad y misericordia supo guiarme por el camino del bien para poder lograr mi sueño, y en segundo agradezco a mi padre Rolando Maximiliano Carrera Villao, porque con su apoyo incondicional fue de gran ayuda.

Rolando Edison Carrera Fernández

Agradecimientos

El trabajo de titulación se lo dedico a mi Dios ya que él es quien bendijo mi camino para seguir adelante en esta gran tarea de realizar mi trabajo de titulación y a Rolando Maximiliano Carrera Fernández y Leonela De La A Salinas, sin ellos no estaría donde me encuentro ahora a punto de poder terminar mi trabajo de titulación ya que ellos son mi pilares fundamentales y mi gran fortaleza para seguir adelante, en todo lo que intente realizar y de saber guiarme por el camino del bien además de inculcarme valores para ser mejor persona y poder contribuir con el desarrollo de la sociedad y del país.

Rolando Edison Carrera Fernández



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES**

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____
MSc. Manuel Romero Paz
TUTOR

f. _____
MSc. Manuel Romero Paz
DIRECTOR DEL PROGRAMA

f. _____
MSc. Luis Córdoba Rivadeneira
REVISOR

MSc. Edgar Quezada Calle
REVISOR

RESUMEN

En este trabajo se realiza el diseño y evaluación de Superficies Selectivas en Frecuencia para etiquetas pasivas de Sistemas de Identificación por Radiofrecuencia (RFID) sin chip (*chipless RFID*). Para este fin se analizan los fundamentos teóricos de los sistemas RFID, sus características y clasificación de las etiquetas, haciendo especial énfasis en el estudio de las etiquetas que no poseen chip. Se detallan los fundamentos de las Superficies Selectivas en Frecuencia (FSS, por sus siglas en inglés), su principio de operación y geometría, profundizando en las FSS de tipo lazo, especialmente las formadas por lazos cuadrados concéntricos. Se describe el diseño de tres FSS compuestas por lazos concéntricos con diferentes geometrías que operan en la banda de las microondas entre los 2 y los 8 GHz. Se utiliza el programa Ansoft HFSS en la versión 15.0.2 para la simulación de las estructuras y realizar su posterior evaluación. Se aplica el método exploratorio, para analizar la situación existente, su caracterización y utilidad práctica de los sistemas RFID convencionales y los novedosos sistemas RFID sin chip, con lo cual se emplea el método descriptivo para examinar los datos conseguidos y aplicarlos para el objeto de este trabajo. El modelo Empírico-Analítico es usado con una perspectiva Cuantitativa a través de la aplicación de las matemáticas para describir los procesos ensayados en esta investigación, y la elaboración de los esquemas de los arreglos planteados. Es Experimental considerando que se evalúa el comportamiento de las estructuras diseñadas frente a variaciones del grosor del sustrato y bajo el efecto de la incidencia oblicua de la onda de excitación.

Palabras clave: RFID, chipless, tag, FSS, ASIC, HIS

ABSTRACT

In this work, the design and evaluation of Frequency Selective Surfaces for passive tags of Radio Frequency Identification Systems (RFID) without chip (chipless RFID) is carried out. For this purpose, the theoretical foundations of RFID systems, their characteristics and label classification are analyzed, with special emphasis on the study of labels that do not have a chip. The fundamentals of Frequency Selective Surfaces (FSS), its principle of operation and geometry are detailed, delving into loop-type FSS, especially those formed by concentric square loops. The design of three FSSs made up of concentric loops with different geometries operating in the microwave band between 2 and 8 GHz is described. The Ansoft HFSS program in version 15.0.2 is used to simulate the structures and perform its subsequent evaluation. The exploratory method is applied to analyze the existing situation, its characterization and practical utility of conventional RFID systems and the novel RFID systems without chip, with which the descriptive method is used to examine the data obtained and apply them for the purpose of this job. The Empirical-Analytical model is used with a Quantitative perspective through the application of mathematics to describe the processes tested in this investigation, and the elaboration of the schemes of the proposed arrangements. It is Experimental considering that the behavior of the designed structures is evaluated against variations in the thickness of the substrate and under the effect of the oblique incidence of the excitation wave..

Keywords: RFID, chipless, tag, FSS, ASIC, HIS.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIII
CAPITULO 1 . Introducción a la investigación.	15
1.1 Justificación.....	15
1.2 Antecedentes.....	16
1.3 Definición del problema.	18
1.4 Objetivos.	18
1.4.1 Objetivo General.....	18
1.4.2 Objetivos específicos	18
1.5 Hipótesis.	19
1.6 Metodología a aplicarse.....	19
CAPITULO 2 . Fundamentos teóricos de RFID.	20
2.1 Generalidades los sistemas RFID.	20
2.1.1 Componentes de un sistema RFID genérico.	21
2.2 Clasificación de las etiquetas RFID según su alimentación.	23
2.2.1 Etiquetas RFID activas.	23
2.2.2 Etiquetas RFID semi-pasivas.....	24
2.2.3 Etiquetas RFID pasivas	24
2.3 Sistemas RFID con etiquetas pasivas sin chip.	25
2.3.1 Requerimientos para sistemas de RFID pasivos sin chip.	26
2.3.2 Clasificación de las etiquetas RFID pasivas sin chip.....	27
2.4 Clasificación de las etiquetas RFID de acuerdo a su frecuencia de operación.	32
2.5 Afectaciones en el rango de lectura.....	34
2.6 Aplicaciones de RFID.	37
CAPITULO 3 . Superficies Selectivas en Frecuencia.	38
3.1 Superficies periódicas.	39
3.1.1 Arreglos pasivos y arreglos activos.	40
3.1.2 Arreglos de dipolos y arreglos de aberturas.	41
3.2 Geometría de los elementos FSS.....	41
3.3 FSS compuesta por lazos cuadrados concéntricos.....	43
3.3.1 Principio de operación y modelo circuital.	43
3.3.2 Desempeño frente a incidencia oblicua	50

3.3.3	Rango de lectura.	51
Capítulo 4.	Diseño Superficies Selectivas en Frecuencia para etiquetas RFID pasivas sin chip.	53
3.4	Requerimientos de diseño y geometría de las FSS propuestas. .	53
3.5	Resultados de la simulación de las FSS.	54
3.5.1	FSS compuesta por lazos fractales concéntricos.....	56
3.5.2	FSS compuesta por lazos hexagonales concéntricos	58
3.5.3	FSS compuesta por lazos cuadrados concéntricos	61
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		65
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Comunicación entre tag, lector y host.	21
Figura 2.2. Componentes de un sistema RFID genérico.	22
Figura 2.3. Etiqueta RFID activa.	24
Figura 2.4. Etiqueta RFID pasiva.	25
Figura 2.5. Clasificación de las etiquetas RFID pasivas.	27
Figura 2.6. Esquema de un sistema RFID pasivo convencional sin chip.	30
Figura 2.7 a) Los líquidos tienden a absorber y debilitar las ondas de RF. b) Bloqueo y desvío de las ondas de RF por bobinas de cables. c) Reflexión de las ondas de RF al incidir sobre el metal.	35
Figura 3.1. Tipos de elementos de FSS.	39
Figura 3.2. a) Arreglo pasivo. b) Arreglo activo.	40
Figura 3.3. Arreglo ranuras excitado por un plano de onda incidente H^i	41
Figura 3.4. Elementos típicos de FSS.	42
Figura 3.5. Esquema en 3-D de la tarjeta chipless RFID propuesta.	44
Figura 3.6. Modelo de circuito equivalente de línea de transmisión.	48
Figura 3.7. Impedancia de entrada de una FSS de cinco anillos impresa sobre un sustrato FR4 de 1.6 mm.	48
Figura 3.8. Ejemplo de secuencias de 5 bits obtenidas empleando diferentes celdas de FSS.	49
Figura 3.9. Comparación entre los coeficientes de reflexión de las tres secuencias de bits obtenidas a partir de las tres celdas unitarias del ejemplo planteado en la figura 3.8.	50
Figura 4.1. Geometría de las FSS propuestas.	54
Figura 4.2. Modelos 3D de las FSS en HFSS, a) FSS compuesta por lazos fractales concéntricos, b) compuesta por lazos hexagonales concéntricos, c) compuesta por lazos cuadrados concéntricos.	55
Figura 4.3. Impedancia de entrada de la FSS compuesta por lazos fractales concéntricos.	56
Figura 4.4. Absorción de la FSS compuesta por lazos fractales concéntricos que codifica la cadena "11111".	57
Figura 4.5. Pérdidas de retorno de la FSS compuesta por lazos fractales concéntricos.	57

Figura 4.6.Pérdidas de retorno de las estructuras que codifican las cadenas “11111”, “10101” y “01001”..	58
Figura 4.7.Impedancia de entrada de la FSS compuesta por lazos hexagonales concéntricos.....	59
Figura 4.8.Absorción de la FSS compuesta por lazos hexagonales concéntricos que codifica la cadena “111111”.	59
Figura 4.9.Pérdidas de retorno de la FSS compuesta por lazos hexagonales concéntricos.	60
Figura 4.10.Pérdidas de retorno de las estructuras que codifican las cadenas “111111”, “0101001” y “1010101”.....	60
Figura 4.11.Impedancia de entrada de la FSS compuesta por lazos cuadrados concéntricos.	61
Figura 4.12.Absorción de la FSS compuesta por lazos cuadrados concéntricos que codifica la cadena “11111”.....	61
Figura 4.13.Pérdidas de retorno de la FSS compuesta por lazos cuadrados concéntricos.	62
Figura 4.14.Pérdidas de retorno de las estructuras que codifican las cadenas “11111”, “10101” y “10010”.....	62
Figura 4.15.Comportamiento de las pérdidas de retorno de la FSS compuesta por lazos cuadrados concéntricos frente a variación del grosor del sustrato.	63
Figura 4.16.Simulación de la estructura compuesta por 2x2 celdas.	63
Figura 4.17.Comportamiento de las pérdidas de retorno frente a incidencia oblicua.....	64

CAPITULO 1 . Introducción a la investigación.

A continuación se presentará de una manera detallada el problema de investigación, su planteamiento, definición, justificación y límites, a partir de lo cual se planteará el objetivo general y los específicos, así como la hipótesis a demostrar.

1.1 Justificación.

La identificación por radiofrecuencia (RFID, Radio Frequency Identification) ha llegado a ser una tecnología muy popular alcanzando un gran desarrollo comercial en diversas áreas como por ejemplo cadenas de abastecimiento, implantes quirúrgicos, búsqueda de textos en librerías y bibliotecas, servicio de peaje en autopistas, registro de ingreso a edificaciones, control en la aviación y en la seguridad nacional en general. El objetivo de sistemas de esta categoría es el seguimiento, reconocimiento, información y gestión de objetos en movimiento en diversos espacios geográficos. Entre sus utilidades prácticas más específicas está el control remoto de apertura y cierre de puertas de un automóvil y tarjetas para pagar el transporte público (Ahson & Ilyas, 2008), (Santos, 2016).

Un sistema RFID está compuesto normalmente por tres elementos: la etiqueta (*tag* o transpondedor), el lector (*reader*) y el subsistema de procesamiento de datos (*middleware*). A su vez, una etiqueta que funcione por acople electromagnético está formada por una antena y un circuito integrado o chip. Las etiquetas se clasifican en activas, pasivas y semipasivas dependiendo de si incorporan o no una batería (Heras, las, Gómez, Franco, & Marzábal, 2009).

Actualmente la tendencia en el desarrollo de los sistemas de RFID ha sido la utilización de identificadores pasivos donde las etiquetas no utilizan chips (*chipless RFID tags*). Esta solución de etiquetado constituye una alternativa

barata, debido a que los transpondedores se construyen completamente impresos (Castillo, 2018).

En este caso los datos son codificados usando generalmente dos tipos de codificación: reflectometría en el dominio del tiempo (TDR, Time-Domain Reflectometry) y notación espectral. Una variante muy usada y eficiente de último tipo son las superficies selectivas en frecuencia (FSS, Frequency Selective Surfaces).

Una FSS consiste en una estructura periódica de ranuras o elementos conductores que experimenta un comportamiento similar al de los filtros, absorbiendo o reflejando las distintas bandas de frecuencias de la señal de interrogación del lector permitiendo, de esta forma, la codificación del espectro.

Precisamente en el presente proyecto se realiza el diseño y evaluación de superficies selectivas en frecuencia (FSS) para etiquetas pasivas de RFID sin chip.

1.2 Antecedentes.

Los sistemas de identificación por radiofrecuencia (RFID) están experimentando un gran auge debido a sus aplicaciones en la identificación, seguimiento, localización o detección de amplia variedad de objetos y también de seres vivos. Recientemente, la tecnología RFID en la banda de UHF (Ultra High Frequency) ha ganado popularidad en muchas aplicaciones, dado que proporciona un amplio rango de lectura de las etiquetas, capacidad de almacenamiento de información más grande y mayor velocidad de lectura de las etiquetas que bandas de frecuencia inferiores (Heras, las, Gómez, Franco, & Marzábal, 2009).

En los sistemas RFID el material al que se adhiere la etiqueta debería tener un mínimo efecto sobre ella, para que funcione adecuadamente. Sin embargo, las antenas de las etiquetas no operan independientemente de los objetos que tienen cerca, sino que éstos pueden degradar sus propiedades de radiación en diferente grado. De hecho, el rango de lectura

de las etiquetas y su estabilidad cambian dependiendo de las características de los materiales de las superficies sobre las que se colocan. Así, por ejemplo, si las superficies están hechas con materiales dieléctricos, el rango de lectura puede decrecer debido al desplazamiento de la frecuencia de resonancia. También puede verse mermada la eficiencia de radiación basada en la propiedad eléctrica de los materiales de la superficie. Más aún, si los objetos tienen conductividades altas, como sucede en el caso de objetos metálicos, entonces la degradación del rendimiento en las lecturas se hace significativa, dado que la componente tangencial del campo eléctrico sobre la superficie de metal decrece mucho (en el supuesto de un conductor eléctrico perfecto se anula). Esta desventaja es más acusada al aumentar la frecuencia, por lo que las etiquetas de la banda de UHF son más susceptibles que las de bandas inferiores a los inconvenientes derivados de la presencia de metales en el sistema y su entorno (Heras, las, Gómez, Franco, & Marzábal, 2009).

Otro problema causado por la colocación de una antena cerca de una superficie metálica es el decrecimiento de su impedancia. Para que un sistema RFID pasivo funcione, es necesario conseguir que se entregue al chip de la etiqueta un nivel de potencia suficiente, procedente de la onda que incide sobre la etiqueta. La presencia de metales y degradación de la impedancia de entrada hace que se acople muy poca potencia al chip, y muy poca de la señal modulada puede ser devuelta desde el chip (Heras, las, Gómez, Franco, & Marzábal, 2009).

Este inconveniente se solventa en parte con el uso de etiquetas activas, si bien a costa de un incremento en el precio de la etiqueta, por la necesidad de incluir una batería en la misma. Además, el diseño de antenas para etiquetas RFID está sujeto a una serie de restricciones, si se pretende que las etiquetas reemplacen a un sistema de etiquetado masivo como el código de barras a nivel de objeto. Estas restricciones son de coste, ya que la antena ha de ser barata; de tamaño, para que la huella de la antena sea pequeña y así poder identificar objetos de dimensiones reducidas; y de

pequeño espesor para que, por ejemplo, sean flexibles (Heras, las, Gómez, Franco, & Marzábal, 2009).

Como se ha podido constatar, el principal reto para emplear masivamente RFID en sustitución al código de barras, es reducir el costo de las etiquetas. El diseño y fabricación de los ASIC (Application Specific Integrate Circuit, Circuito Integrado para Aplicaciones Específicas) necesarios para RFID constituyen el mayor gasto en la implementación de esta tecnología. Por esta razón la tendencia actual es fabricar etiquetas sin circuitos integrados para reducir el costo. Sin embargo, esto trae consigo un nuevo reto: la codificación y transmisión de los datos.

1.3 Definición del problema.

Debido al alto costo de fabricación de las etiquetas RFID se necesitan evaluar métodos de diseño que permitan prescindir del uso chips en las mismas para lograr disminuir su precio.

1.4 Objetivos.

A continuación, se detallan el objetivo general y los objetivos específicos:

1.4.1 Objetivo General.

Diseñar y evaluar superficies selectivas en frecuencia para etiquetas pasivas de RFID sin chip.

1.4.2 Objetivos específicos

1. Analizar los fundamentos teóricos de la identificación por radiofrecuencias.
2. Diseñar y simular superficies selectivas en frecuencia compuestas por lazos concéntricos para etiquetas pasivas de RFID sin chip empenado el *software* HFSSv15.0.2.
3. Evaluar el comportamiento de las FSS frente a la incidencia oblicua de la onda de excitación.

1.5 Hipótesis.

Si se diseñan y evalúan superficies selectivas en frecuencia para la implementación de etiquetas RFID pasivas se podrá prescindir del uso de chips y en consecuencia disminuir los costos de fabricación.

1.6 Metodología a aplicarse.

Esta investigación aplica el método Exploratorio, mediante el que se ahonda en la situación existente, su caracterización y utilidad práctica de los sistemas RFID convencionales y los novedosos sistemas RFID sin chip.

Con la información recopilada se emplea el procedimiento Descriptivo para examinar los datos conseguidos y aplicarlos para el objeto de este trabajo.

El modelo Empírico-Analítico es usado con una perspectiva Cuantitativa a través de la aplicación de las matemáticas para describir los procesos ensayados en esta investigación, y la elaboración de los esquemas de los arreglos planteados.

Es una investigación Experimental considerando que se evalúa el comportamiento de las estructuras diseñadas frente a variaciones del grosor del sustrato y bajo el efecto de la incidencia oblicua de la onda de excitación.

CAPITULO 2 . Fundamentos teóricos de RFID.

Ésta técnica de reconocimiento mediante radiofrecuencias es un proceso actual de transmisión y recepción inalámbrica de información para utilidades como identificación automática, búsqueda y seguridad. Los códigos de barra y distintas maneras de reconocimiento existentes, en ocasiones no son suficientes para las solicitudes presentes, ésta técnica es interesante en variadas utilidades (logística, control de cadenas de abastecimiento, seguridad, vigilancia, inspección de ingreso, etc.). El objetivo más importante de los procesos RFID consiste en admitir la ejecución de procedimientos específicos y hacer realizable la administración de los métodos comerciales, consiguiendo así aumentar la eficacia en la verificación y optimizar el análisis de gestión de calidad y errores, minimizando la pérdida de objetos y aumentando la utilidad económica del comercio (Preradovic & Karmakar, 2012) (Castillo, 2018).

A continuación se estudian los elementos teóricos y la caracterización de la técnica RFID, los tags empleados y los rangos de frecuencia en que trabajan.

2.1 Generalidades los sistemas RFID.

Generalmente un sistema RFID comprende cuatro partes principales: tags, lectores, antenas y un procesador (véase figura 2.1). Los tags contienen un circuito integrado (chip) y una antena flexible instalada en un área de material plástico, la cual tiene como misión transmitir los datos contenidos en el integrado, el cual normalmente es inapreciable para las personas y contiene una memoria interna para recopilar el código de identificación del objeto. El lector permite interpretar e ingresar datos en el tag (Telectrónica, 2006), (Santos, 2016).

Para recibir la respuesta de una tarjeta RFID, el lector genera una onda de radio, si el tag está en el rango de alcance de la señal enviada, responde con su identificación. Estas ondas pueden emitir energía según el tipo de etiqueta, las cuales pueden examinarse de manera remota sin que se produzca contacto físico o sin estar a la vista del lector. El rango de alcance del lector para contactarse con una etiqueta se conoce como “rango de lectura”, varios de ellos contienen un módulo programador para poder ingresar datos en los tags (Santos, 2016).

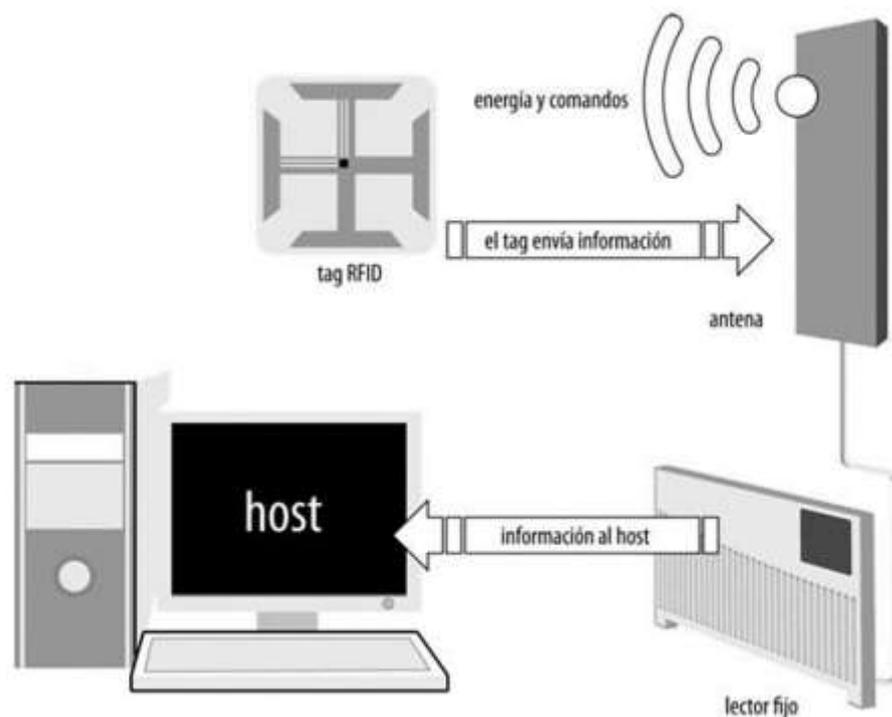


Figura 2.1. Comunicación entre tag, lector y host.

Fuente: (Telectrónica, 2006)

2.1.1 Componentes de un sistema RFID genérico.

Los componentes de un sistema RFID genérico según (Chandra Karmakar, 2010) se muestran en la figura 2.2.

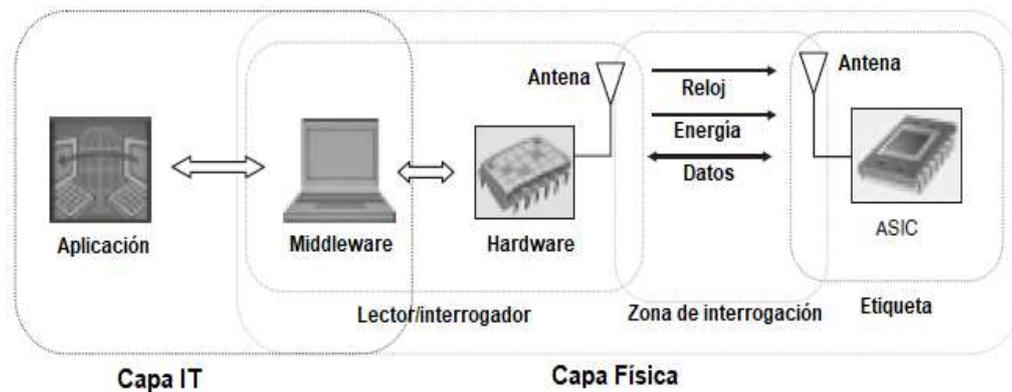


Figura 2.2. Componentes de un sistema RFID genérico.

Fuente: (Chandra Karmakar, 2010)

Etiquetas (Tags). Son similares a los códigos de barras ópticos, se fijan al objeto y guardan la identificación del mismo, también se denominan transpondedor y están integradas normalmente por el chip y la antena, ésta se interconecta con el lector a través de señales electromagnéticas. En tags semi-activas y pasivas, las antenas reciben potencia del lector para energizar el chip de las etiquetas. La perceptibilidad del tag es proporcional a la medida de material conductor empleado y la dimensión de la antena, características importantes para conseguir apreciables alcances de lectura y reducir el aporte de los elementos en que se localizan los que son aplicadas las etiquetas (Chandra Karmakar, 2010) (Castillo, 2018).

Lector/transpondedor. Este dispositivo ejecuta una labor análoga a la de un escáner como los empleados en la lectura de códigos de barras ópticos. El lector puede ser estático o móvil y se integran normalmente por dos elementos: la antena y el chip, la primera accede al contacto con el tag a través de señales electromagnéticas, en el caso de tarjetas pasivas con chip, esta ofrece la energía suficiente para el trabajo del dispositivo activo. El circuito interrogador realiza la función de mediador entre la antena del transpondedor y la capa IT, de esta manera transmite la información mediante la antena, acepta la contestación del tag y la remite a la capa IT donde se procesan los datos, además se encarga de gestionar entre las

diferentes antenas del lector para permitir al dispositivo que pueda obtener una lectura de manera eficiente (Chandra Karmakar, 2010) (Castillo, 2018).

Zona de interrogación (IZ). Es la ubicación física-espacial que comprende el área desde el tag hasta el lector, es decir la región en la que se propagan las señales electromagnéticas. Esta región se considera parte de la capa física debido a que la conexión entre el tag y el lector esb proporcional a las interferencias producidas a causa de otras señales electromagnéticas, la reflexión de ondas y la existencia de personas o cosas fijas o en movimiento en esta área (Chandra Karmakar, 2010) (Castillo, 2018).

El software personalizado (Middleware). Se encarga de enviar y recolectar la información directamente del interrogador, mediante un procedimiento de conteo comercial examinando y guardando la información, para remitirla de acuerdo a solicitud al módulo de aplicación de la organización. También, aporta el software para controlar, disponer y operar los dispositivos del interrogador. Actúa como mediador entre el interrogador y el módulo de aplicaciones de la organización (Chandra Karmakar, 2010) (Castillo, 2018).

2.2 Clasificación de las etiquetas RFID según su alimentación.

En general, las etiquetas RFID pueden ser clasificadas a partir de la forma de alimentación en tres categorías: etiquetas RFID activas, semi-activas y pasivas. A continuación, se describe cada una de ellas.

2.2.1 Etiquetas RFID activas.

Estas etiquetas incorporan una fuente de energía a bordo (normalmente baterías de litio) y un transmisor. Debido a la presencia del transmisor, no tienen que depender de un interrogador para transmitir sus datos por acoplamiento de retrodispersión. La batería suministra energía tanto al circuito integrado como al transmisor.

Permiten amplios rangos de lectura, son muy fiables, pueden tener memorias de hasta 128 KB y su distancia de lectura puede alcanzar los 100

metros. Estas etiquetas pueden aceptar localmente datos de otras etiquetas / sensores, procesarlos y luego transmitirlos (San José, Pastor, & García, 2012)

El inconveniente es que su tamaño es mayor y su costo de fabricación más alto que el resto de tipos. En la figura 2.3 se aprecia una etiqueta RFID activa del fabricante TagSense.



Figura 2.3. Etiqueta RFID activa.

Fuente: (San José, Pastor, & García, 2012)

2.2.2 Etiquetas RFID semi-pasivas

Tienen una fuente de alimentación a bordo para proporcionar alimentación al circuito integrado y mantenerlo activo, pero no llevan ningún transmisor, de este modo se comunica con el lector mediante acoplamiento de retrodispersión. Estas etiquetas son menos costosas que aquellas activas, pero menos económicas que las pasivas, con atributos intermedios entre las dos. Tienen la capacidad de transmitir más flujo de datos que las pasivas y una cantidad similar a los activos, adicionalmente sus dimensiones son menores a las de las activas. Esta clase de tags son fundamentalmente interesantes cuando es posible producir energía de manera eficiente mediante la señal de Radio Frecuencia receptada (Jirasereeamornkol, 2005), (Santos, 2016).

2.2.3 Etiquetas RFID pasivas

Las etiquetas pasivas (véase figura 2.4) no tienen fuente de energía propia. La señal que es emitida por los lectores induce una pequeña corriente al

circuito integrado que le permite generar y transmitir una respuesta. Estas tarjetas permiten una distancia de lectura corta (inferior a 10 m), son más económicas que las anteriores, pueden almacenar hasta 2 KB y pueden ser muy pequeñas. Se usan normalmente en artículos consumibles debido a su bajo costo (San José, Pastor, & García, 2012).

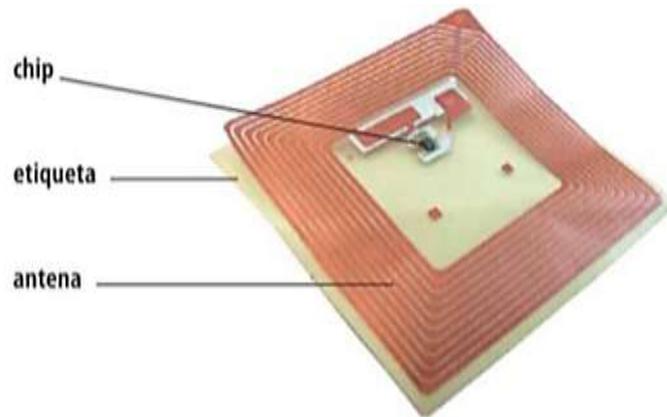


Figura 2.4. Etiqueta RFID pasiva.

Fuente: (Telectrónica, 2006)

Si se compara los tags pasivos y activos se determina que los primeros son configuraciones sencillas, livianas, baratas, resistentes a entornos hostiles y con una larga vida útil, mientras que presentan como desventajas que su rango máximo de lectura es menos de diez metros y requieren de mucha energía en el lector para transmitir, la cual es necesaria para energizar el circuito integrado para el procesamiento y emisión de la información almacenada otra vez al lector (Sánchez, 2014) (Castillo, 2018).

2.3 Sistemas RFID con etiquetas pasivas sin chip.

Actualmente el empleo de etiquetas RFID pasivas sin chip constituye una alternativa promisorio para el rotulado de elementos de manera económica. Para disminuir precios, los tags se producen totalmente impresos y sin chip. De esta manera la programación de información sin chip puede ejecutarse de acuerdo a dos diseños de programación: reflectometría en dominio tiempo (TDR, Time-Domain Reflectometry) y por notación o sintonía

espectral, de esta manera los RFID sin chip se pueden agrupar en aquellos fundamentados en dominio tiempo y frecuencia (Castillo, 2018).

2.3.1 Requerimientos para sistemas de RFID pasivos sin chip.

A continuación, se expresan algunos de los requerimientos que debe cumplir un sistema RFID pasivo *chipler* para su aplicación práctica.

Precio: El precio de un procedimiento RFID estriba principalmente del valor de los transpondedores. Los tags pasivos RFID es menester que sea muy económico, de preferencia con precios menores a un centavo de dólar, para ser atractivo económicamente al rotular objetos de papel o plástico de precio módico. Lo indicado restringe seriamente el proyecto de los transpondedores y el escogimiento del material que se usará para su fabricación. Los conductores característicos empleados en estos procesos pueden ser aluminio, cobre y tinta conductora, mientras que los aislantes preferidos son polyester y elementos de PCB (Printed Circuit Board) (Preradovic & Karmakar, 2012) (Castillo, 2018).

Dimensiones: las dimensiones de los transpondedores están relacionadas con la frecuencia de operación y el tamaño del objeto a rotular. Estas dimensiones normalmente pueden ser de varios centímetros hasta un decímetro (Preradovic & Karmakar, 2012) (Castillo, 2018).

Banda de frecuencias: La banda de frecuencias de operación es un aspecto importante del sistema propuesto porque esta determina directamente la cantidad de bits con el cual puede ser codificado (Preradovic & Karmakar, 2012).

Rango de lectura: El rango mínimo de lectura requerido se especifica en base a la receptividad del lector, en razón de que los RFID sin chip no requieren una batería para trabajar (Preradovic & Karmakar, 2012) (Castillo, 2018).

Confiabilidad: Los transpondedores RFID deben ser dispositivos confiables que pueden tolerar cambios de temperatura, humedad, soportar procedimientos como impresión, implantación y laminado del tag. Está demostrado que la tinta conductora es considerablemente resistente conservando esta característica al estampar sobre sustratos dúctiles, aspecto importante en utilidades como rotulado de sobres o facturas (Preradovic & Karmakar, 2012) (Castillo, 2018).

Protección: Los procedimientos RFID pasivos permiten brindar una capa adicional de protección de adulteraciones mediante la utilización de tintas conductoras traslucidas. Un transpondedor puede imprimirse sin anuncio evidente. Una ventaja adicional consiste en que sería improbable leer varios tags amontonados simultáneamente (un conjunto de facturas rotuladas no podrían leerse con exactitud por el acoplamiento mutuo y la imposibilidad de distinguir entre tags o establecer la cantidad de etiquetas) (Preradovic & Karmakar, 2012) (Castillo, 2018).

2.3.2 Clasificación de las etiquetas RFID pasivas sin chip.

La figura 2.5 muestra la clasificación de las etiquetas RFID pasivas *chipless* de acuerdo a su modo de operación.

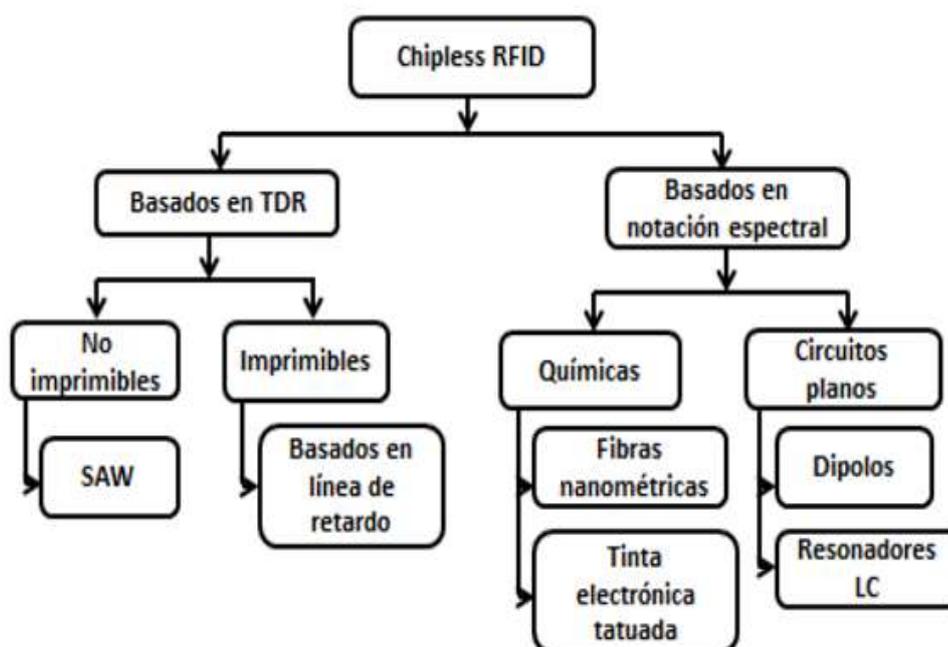


Figura 2.5. Clasificación de las etiquetas RFID pasivas

2.3.2.1 Etiquetas basadas en TDR.

Para preguntar a estos tags, el lector emite una onda y recibe los ecos arribando de retorno desde la etiqueta, los cuales regresan al lector como un tren de pulsos que podría emplearse para recopilar la información. Existen informes de numerosos tags RFID que aplican este procedimiento de programación de información y se pueden clasificar en etiquetas imprimibles y no imprimibles (Preradovic & Karmakar, 2012) (Castillo, 2018).

- Etiquetas no imprimibles basadas en TDR.

Un ejemplo de etiqueta no imprimible basada en TDR es el transpondedor basado en ondas acústicas de superficie (SAW, Surface Acoustic Wave), el cual es muy exitoso comercialmente. La etiqueta SAW se excita por un impulso Gaussiano emitido por el lector, centrado en 2.5 GHz, el cual se transforma en una onda SAW mediante un IDT (Interdigital Transducer), dicha onda se irradia mediante el cristal piezoeléctrico y es reflejada utilizando un conjunto de reflectores, generando un tren de pulsos con desviaciones de fase. El tren de pulsos producido al retornar se transforma en una onda electromagnética mediante el IDT para ser posteriormente recibido por el lector, aquí se decodifica el identificador del tag. Aunque las etiquetas SAW son completamente prácticas y conseguirían substituir los tags con chip, no brindan un procedimiento de etiquetas íntegramente grabable a causa de su característica piezoeléctrica, lo que impide que sean estampadas en billetes bancarios, sellos de correo u otros objetos de papel o plástico (Preradovic & Karmakar, 2012) (Castillo, 2018).

- Etiquetas imprimibles basadas en TDR.

Pueden encontrarse compuestas por un circuito transistor de película fina (TFTC, *Thin-Film-Transistor-Circuits*) o basadas en microcintas con discontinuidades. Las etiquetas TFTC pueden ser impresas con gran

rapidez sobre láminas de plástico de poco grosor y bajo costo; estas además ofrecen ventajas sobre las etiquetas activas y pasivas con chip debido a su pequeño tamaño y bajo consumo de potencia; sin embargo, requiere más potencia que otras pasivas, pero ofrece mayores funcionalidades. Sin embargo, aún no se ha desarrollado un proceso de confección, de bajo costo para estas etiquetas. Además, la frecuencia de operación está limitada hasta varios MHz (Preradovic & Karmakar, 2012).

- Etiquetas de línea de retardo basadas en TDR.

Operan introduciendo discontinuidades en la microcinta. La etiqueta es excitada por un pulso electromagnético pequeño (1 ns). El pulso de interrogación es recibido por la etiqueta y reflejado en varios puntos a lo largo de la línea de microcintas generando múltiples ecos. El tiempo de demora entre los ecos se determina por la longitud de la línea de retardo entre las discontinuidades. Este tipo de etiqueta es una réplica de los transpondedores SAW usando tecnología de microcintas, lo cual la hace imprimible. Aunque se han reportado pruebas y experimentos iniciales de esta tecnología, solo se han podido codificar satisfactoriamente 4 bits de datos, lo que demuestra un limitado potencial (Preradovic & Karmakar, 2012).

2.3.2.2 Etiquetas basadas en notación espectral.

En esta categoría de tags se recopila la información dentro del espectro mediante el uso de configuraciones resonantes. Cada bit de información se relaciona habitualmente con la existencia o inexistencia de un pico de resonancia operando a una frecuencia establecida en el espectro. Estos tags tienen la conveniencia de ser resistentes, completamente grabables, tienen altas capacidades para la acumulación de información y su fabricación es muy económica. La desventaja de estos tags es que requieren grandes segmentos del espectro para la programación de información y por consiguiente un gran ancho de banda consagrado al lector. Se conocen dos categorías de tags fundamentados en notación

espectral considerando sus características: químicas y de circuitos planos (Preradovic & Karmakar, 2012) (Castillo, 2018).

Comúnmente en un sistema RFID basado en notación espectral (véase figura 2.6), el lector RFID genera una onda de Radio Frecuencia (indicación de pregunta) mediante la antena transmisora del lector (Txr), la cual se propaga por el espacio hasta alcanzar el tag, cuya antena receptora (Rxt) recibe las ondas electromagnéticas (OEM) transmitidas por el lector dentro del ancho de banda de la antena. La onda procedente de la antena (Rxt) se irradia mediante la línea de transmisión (LT) y por acoplamiento magnético se activan los resonadores adyacentes a la LT y se ejecuta el procedimiento de programación (notación espectral), por último alcanza el otro lado del tag donde se localiza la antena Txt, y posteriormente, la onda codificada se transmite de nuevo al lector RFID (Sánchez, 2014) (Castillo, 2018).

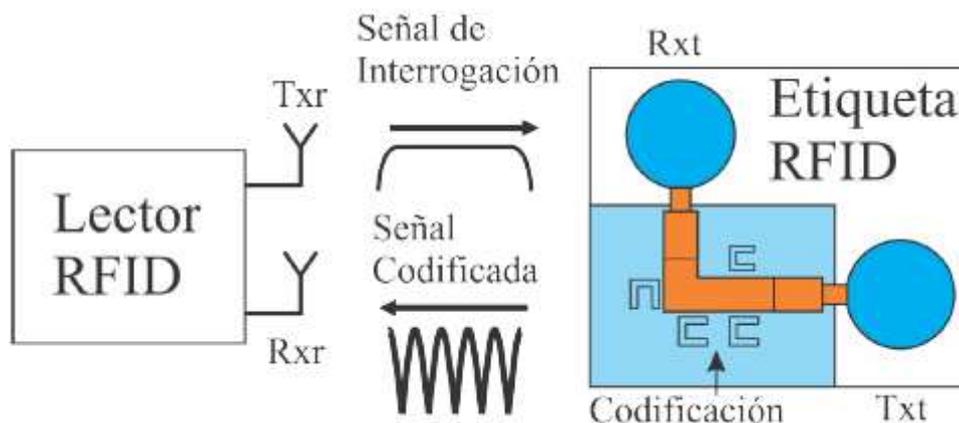


Figura 2.6. Esquema de un sistema RFID pasivo convencional sin chip.

Fuente: (Sánchez, 2014)

- Etiquetas químicas.

Son diseñadas por disposición de fibras resonantes o tinta electrónica especial. Dos compañías en Israel usan materiales nanométricos para diseñar *chipless* RFID. Estas etiquetas están compuestas por partículas diminutas de químicos, los cuales exhiben grados variables de magnetismo y cuando son impactados por las ondas electromagnéticas estas resuenan a distintas frecuencias, lo cual es recogido por el lector. Estas etiquetas son

muy baratas y pueden ser fácilmente utilizadas sobre billetes de banco y documentos importantes, evitando falsificaciones. Son potencialmente de bajo costo y pueden trabajar sobre múltiples objetos de papel y plástico. Desafortunadamente, sólo pueden operar en frecuencias por encima de unos pocos kHz, aunque también ofrecen muy buena tolerancia al metal y al agua (Preradovic & Karmakar, 2012).

- Etiquetas pasivas de tinta tatuada.

Utilizan patrones de tinta electrónica incrustados o impresos sobre la superficie del objeto etiquetado. Desarrollado por *Somark Innovations*, la tinta electrónica se deposita en un patrón de código de barras único, el cual es diferente para cada elemento. El sistema opera interrogando la etiqueta de tinta tatuada, con una señal de microondas de alta frecuencia (superior a 10 GHz) que es reflejada por las áreas del tatuaje, creando un patrón único que puede ser detectado por el lector. El rango de lectura es mayor a los 1.2 m (4 pies). Para aplicaciones no-animales la tinta puede ser impresa sobre plástico, papel o dentro del material (Preradovic & Karmakar, 2012).

- Etiquetas pasivas con circuitos planos.

Estos tags son perfilados empleando configuraciones resonantes como ranuras de cinta y microcinta, y pueden estar formados por antenas, filtros y fractales. Se estampan en placas finas y dúctiles de sustratos plásticos. El tag pasivo se forma por un conjunto de antenas dipolo, con resonancias a varias frecuencias. Al ser preguntado por una onda de barrido en frecuencia, el lector determina reducciones de amplitud en el espectro a causa de los dipolos, cada uno de los cuales posee una proporción 1:1 con los bits de información. Los elementos importantes respecto a este proceso son: las dimensiones del tag (a frecuencia más baja, mayor longitud de onda del medio dipolo) y el efecto del acoplamiento mutuo entre elementos dipolos (Preradovic & Karmakar, 2012) (Castillo, 2018).

- Etiquetas basadas en resonadores LC.

Se componen por una espiral simple, que resuena a una frecuencia particular. Estas etiquetas son consideradas etiquetas RFID de 1bit. El principio de operación se basa en el acoplamiento magnético entre la antena del lector y la etiqueta resonante LC. El lector realiza constantemente un barrido de frecuencias buscando los transpondedores. Cada vez que una frecuencia del barrido corresponde con la frecuencia de resonancia del transpondedor, este comenzará a oscilar produciendo una disminución del voltaje sobre los puertos de la antena del lector. La ventaja de estas etiquetas es su costo y su estructura sencilla (espiral resonante simple), pero tienen grandes restricciones en el rango de lectura, almacenamiento de información (1 bit), ancho de banda de operación y colisiones múltiples entre etiquetas. Estas etiquetas se emplean principalmente para la supervisión de artículos electrónicos en muchos supermercados y en las tiendas minoristas (Preradovic & Karmakar, 2012).

2.4 Clasificación de las etiquetas RFID de acuerdo a su frecuencia de operación.

Etiquetas de baja frecuencia (LF): En esta categoría entran las etiquetas que operan entre 125 kHz y 134 kHz. Estas etiquetas se utilizan principalmente para el rastreo de animales, para pacientes en hospitales, para inmovilizadores de vehículos entre otras aplicaciones. Esta es la tecnología más madura entre todas las etiquetas RFID. En general, estas etiquetas son pasivas, tienen rangos de lectura cortos (pocas pulgadas), usan un acoplamiento inductivo de campo cercano, usan antenas de bobina de alambre de cobre, y poseen una capacidad de manejo de datos mínima. Tienen una capacidad anticolidión muy limitada o nula (Chandra Karmakar, 2010).

Etiquetas de alta frecuencia (HF): Las etiquetas RFID que operan a 13.56 MHz se encuentran en esta categoría. Estas etiquetas son etiquetas pasivas que usan un acoplamiento inductivo de campo cercano con un rango de lectura de aproximadamente 3 pies, y tienen una mayor capacidad de manejo de datos con una mayor tasa de transferencia de datos en

comparación con las etiquetas LF. Esta tecnología es menos madura que las etiquetas LF, y tiene disposiciones para anticolidión; sin embargo, debido a que el rango de lectura es bajo, esta tecnología rara vez se utiliza. Las antenas aquí son bobinas de aluminio, cobre o plata y de aspecto bidimensional, lo que reduce su costo en comparación con las etiquetas LF. Estas etiquetas se pueden usar de manera efectiva cuando se adhieren a objetos que contienen agua, tejidos, madera, etc. Sin embargo, cuando tienen metales cerca, su comportamiento cambia. Los interrogadores son comparativamente menos complejos y la zona de interrogación es uniforme, por lo que hacen que estas etiquetas sean muy útiles en aplicaciones como estantes inteligentes en supermercados, manejo de equipaje, sistemas de administración de bases de datos de bibliotecas entre otras (Chandra Karmakar, 2010).

Etiquetas de frecuencia ultra alta (UHF): En esta categoría se encuentran las etiquetas que operan a 433 MHz (etiquetas activas) o 860-960 MHz (etiquetas pasivas y semi-pasivas) con una frecuencia central de alrededor de 915 MHz. Las etiquetas pasivas y semi-pasivas en esta frecuencia utilizan el acoplamiento de retrodispersión para comunicarse con el lector, mientras que las activas usan su propio transmisor.

Para las pasivas y semi-pasivas, el rango de lectura es bastante alto, llegando a aproximadamente 20 pies. Las etiquetas que operan a estas frecuencias tienen protocolos anticolidión bien definidos que permiten la lectura de múltiples etiquetas simultáneamente. Las antenas son generalmente antenas dipolo planas y están hechas de cobre, plata o aluminio sobre el sustrato. Estas etiquetas no funcionan bien en las proximidades del agua y los metales. En particular, el agua absorbe las frecuencias UHF. Las antenas UHF son direccionales, logrando así una zona de interrogación bien definida.

Sin embargo, fenómenos como la multitrayectoria, la interferencia y el desvanecimiento afectan la zona de interrogación, lo que la hace de naturaleza no uniforme. Debido a que la tecnología es relativamente

inmadura, la frecuencia de operación varía en los diferentes países (Chandra Karmakar, 2010).

Etiquetas de microondas: En esta categoría se encuentran las etiquetas que operan en frecuencias de 2.4 GHz y 5.8 GHz. Se dispone de etiquetas pasivas, semi-pasivas y activas en este rango de frecuencias, con una reducción considerable del tamaño. El rango de lectura para las etiquetas pasivas es de alrededor de 15 pies, en las semi-pasivas es de alrededor de 100 pies y en las activas alrededor de 350 pies.

Debido a que las antenas son más direccionales en este rango de frecuencias, la zona de interrogación está mucho mejor definida. Estas etiquetas son más fáciles de trabajar con objetos metálicos debido a la menor longitud de onda y por otro lado al disponer de rangos de frecuencia más amplios, se pueden usar más canales, lo que permite una lectura más efectiva. Estas etiquetas tienen aplicación en la cobranza de peaje de carreteras, la identificación de la flota y el sistema de ubicación en tiempo real (Chandra Karmakar, 2010).

2.5 Afectaciones en el rango de lectura.

Las etiquetas de RFID pasivas 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. A continuación, se presentan algunas de las características propias de la radiofrecuencia que afectan la lectura de las etiquetas (Castillo, 2018):

Interferencias: Algunos materiales ofrecen interferencias reducidas a la energía 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 (Teledrónica, 2006) (Castillo, 2018).

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 2.7 a) (Castillo, 2018).

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, y el resultado de pérdida dieléctrica. Por ejemplo, las etiquetas posicionadas en el espacio de aire justo debajo de la tapa de las botellas reducirán la absorción (Telectrónica, 2006) (Castillo, 2018).

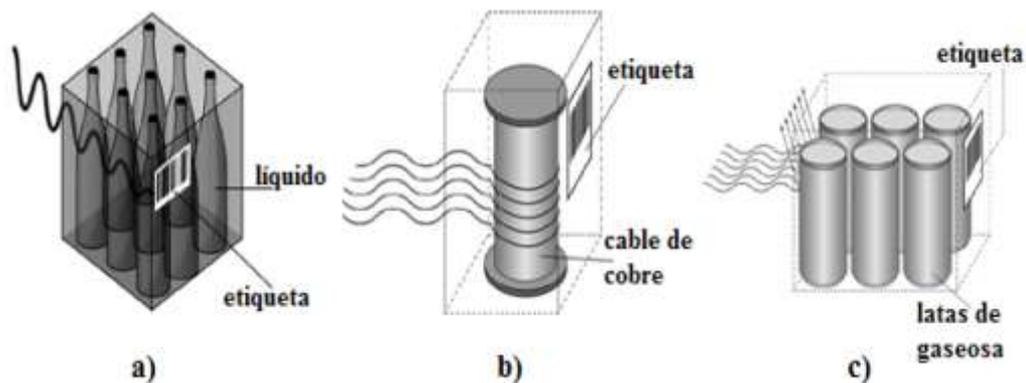


Figura 2.7 a) Los líquidos tienden a absorber y debilitar las ondas de RF. b) Bloqueo y desvío de las ondas de RF por bobinas de cables. c) Reflexión de las ondas de RF al incidir sobre el metal.

Fuente: (Telectrónica, 2006)

Revestimiento: Metales y finas láminas de metal pueden conducir una onda de radio lejos de un objetivo, impidiéndole pasar. El material de revestimiento puede actuar como un espiral de inducción, creando un campo opuesto que debilita la señal (figura 2.7 b)), aspecto que se incrementa con el aumento de la frecuencia. 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 2.7 c)) mientras el plástico de las

botellas de aceite y el aceite son transparentes a las ondas de RF (Telectrónica, 2006) (Castillo, 2018).

Desintonización: Las antenas de la etiqueta, son inmensamente afectadas por sus alrededores inmediatos. Una etiqueta aplicada a una caja de gaseosas, por ejemplo, será más afectada por su ubicación (parte superior de la caja, parte inferior de la caja, etc.) que cualquier otra. La absorción y el revestimiento de las latas reducirán la cantidad de energía que alcanza la etiqueta y reducirá la señal esparcida de regreso al lector. Las etiquetas que están 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. Las etiquetas con antenas especialmente diseñadas, con una ubicación apropiada en cajas individuales y una orientación apropiada de cajas dentro de un pallet, puede aumentar la efectividad de la lectura. En algunas ocasiones la implementación de RFID requiere incluso del rediseño del empaquetado (Telectrónica, 2006) (Castillo, 2018).

Refracción: En frecuencias UHF, la refracción de la señal 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 (Telectrónica, 2006) (Castillo, 2018).

Zonas Muertas: La interferencia crea las llamadas “zonas muertas” debido a las características del ambiente. Otros sistemas de radio, computadoras inalámbricas, y teléfonos pueden crear interferencias, pero estas son filtradas usualmente a través del protocolo inalámbrico del lector y la etiqueta. 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 (Telectrónica, 2006) (Castillo, 2018).

2.6 Aplicaciones de RFID.

Farmacéuticos: Una de las promesas más grandes para el uso de RFID se encuentra en la industria farmacéutica. Actualmente, el robo, falsificación y el desvío de prescripciones de medicamentos costosos son algunos de los costos más elevados que enfrenta el sector. Una manera que tienen los fabricantes de frenar el robo y la falsificación es aplicar etiquetas RFID a prueba de violaciones. Las farmacias y los hospitales podrían verificar la validez de sus productos contra una base de datos segura (Telectrónica, 2006).

Identificación y seguimiento de equipajes: Etiquetas RFID insertadas en etiquetas de identificación de equipaje aéreo pueden ser utilizadas para proveer una solución efectiva de seguimiento. Dado que una etiqueta RFID tiene capacidad suficiente para almacenar información sobre el equipaje y los datos de la ruta, la información está disponible localmente, evitando cualquier necesidad de acceso al sistema central o a bases de datos. Las etiquetas RFID pueden ser leídas (a diferencia de los códigos de barra) en cualquier orientación (sin importar que el equipaje se encuentre mezclado), resultando en una lectura más veloz y exacta en comparación con la lectura de código de barras (Telectrónica, 2006) (Santos, 2016).

Seguimiento de materiales peligrosos: Las plantas de procesamiento químico manejan muchas clases diferentes de químicos a diario. Los productos químicos arriban desde diferentes proveedores y luego son consumidos o procesados en la planta. La planta transporta los productos fabricados desde estos químicos a distribuidores y clientes. Algunos de los químicos pueden ser peligrosos y, por consiguiente, debe ser tomado en cuenta un cuidado especial cuando se los manipula (Telectrónica, 2006).

Monitoreo y control de inventarios: Seguimiento de partes y piezas en líneas aéreas y fabricación automotriz. Las grandes líneas aéreas cuentan con un inventario de medio millón de partes, lo que representa más de un billón de dólares en materiales. Este control de los inventarios actualmente es realizado manualmente, resultando en un alto grado de error (y, por lo tanto, un alto costo de mantenimiento de inventarios). Las etiquetas RFID que operan en el rango de frecuencia 13.56 MHz son recomendadas para este propósito porque pueden ser utilizadas en ambientes y productos metálicos. Sin embargo, este tipo de etiquetas tienen un bajo rango de lectura /escritura (menos de 1 m) (Telectrónica, 2006) (Castillo, 2018).

CAPITULO 3 . Superficies Selectivas en Frecuencia.

En el presente capítulo se exponen los fundamentos de las superficies selectivas en frecuencia haciendo especial énfasis en las FSS compuestas por lazos concéntricos.

Una Superficie Selectiva en Frecuencia es un arreglo periódico de aberturas o de elementos conductores (Pereira de Siqueira Campos, 2008), como muestra la figura 3.1. Una FSS con elementos del tipo abertura trabaja como un filtro pasabandas. Por otra parte, una FSS con elementos conductores opera como un filtro supresor de banda.

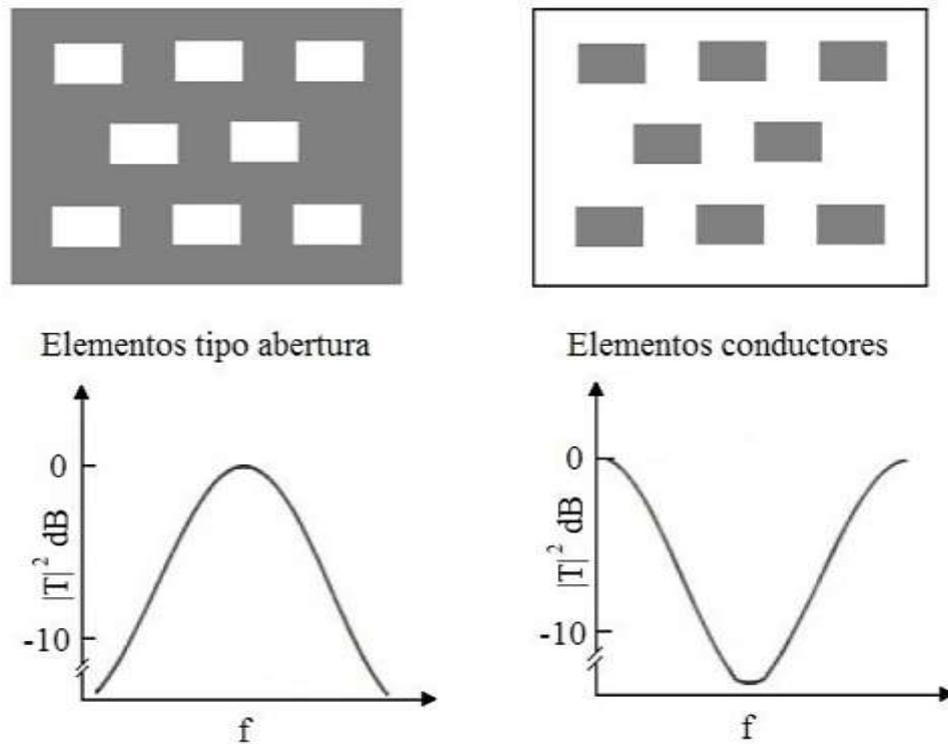


Figura 3.1. Tipos de elementos de FSS.

Fuente: (Pereira de Siqueira Campos, 2008)

3.1 Superficies periódicas.

Una superficie periódica es básicamente un grupo de elementos idénticos ordenados en un arreglo infinito de una o dos dimensiones. La figura 3.2 muestra un ejemplo donde un dipolo alimentado en su centro con impedancia de carga Z_L ha sido ordenado en un arreglo rectangular con separación entre elementos D_x y D_z (Munk, 2000).

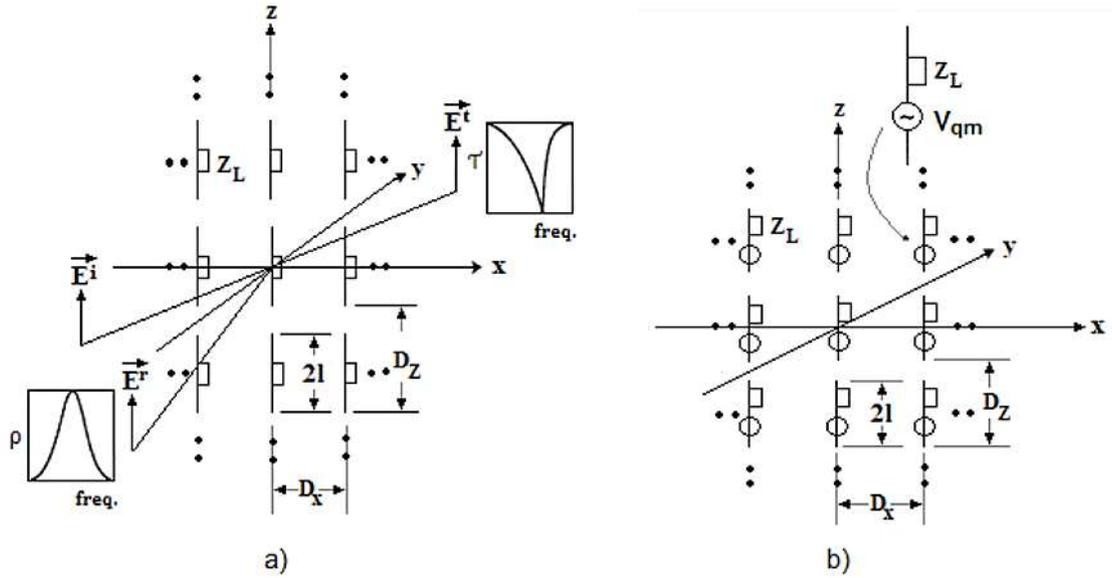


Figura 3.2.a) Arreglo pasivo. b) Arreglo activo.

Fuente: (Munk, 2000)

3.1.1 Arreglos pasivos y arreglos activos.

Fundamentalmente, cualquier arreglo periódico puede ser excitado de dos formas: por un plano de onda incidente, como se muestra en la figura 3.2a (arreglo pasivo) o por generadores individuales conectados a cada elemento figura 3.2b (arreglo activo). En este último caso los generadores de voltaje deben tener la misma amplitud y variación de fase lineal a lo largo de cada elemento del arreglo para que pueda clasificarse como superficie periódica (Munk, 2000).

En el caso de un arreglo pasivo, una parte del plano de onda incidente se transmite en la dirección de propagación (E^t) y la otra se refleja en la dirección especular (E^r). Bajo condiciones de resonancia y para lóbulos no gratos la amplitud de la señal reflejada debe ser igual a E^i mientras $E^t = 0$. El coeficiente de reflexión especular se define como se expresa en la ecuación 3.1.

$$\rho = \frac{E^r}{E^i} \quad (3.1)$$

De igual forma el coeficiente de transmisión se define según se expresa la ecuación 3.2.

$$\tau = \frac{E^t}{E^i} \quad (3.2)$$

3.1.2 Arreglos de dipolos y arreglos de aberturas.

En lugar de los arreglos de dipolos con corrientes eléctricas mostrados en la figura 3.2, se pueden considerar también arreglos de corrientes magnéticas como el mostrado en la figura 3.3. Este arreglo puede además ser excitado de ambas formas, con un plano de onda incidente (pasivo) o por generadores individuales (activo). La principal diferencia de estos arreglos con respecto a los de dipolo es que en estos últimos se excitan corrientes eléctricas en los alambres del dipolo mientras que en los de ranura se excitan "corrientes magnéticas" (hay una distribución de voltaje en las ranuras). Como se observó anteriormente ambos casos llegan a ser absolutamente iguales y simétricos si se compara el campo eléctrico en el caso de un arreglo de dipolos con el campo magnético en un arreglo de ranuras (Munk, 2000).

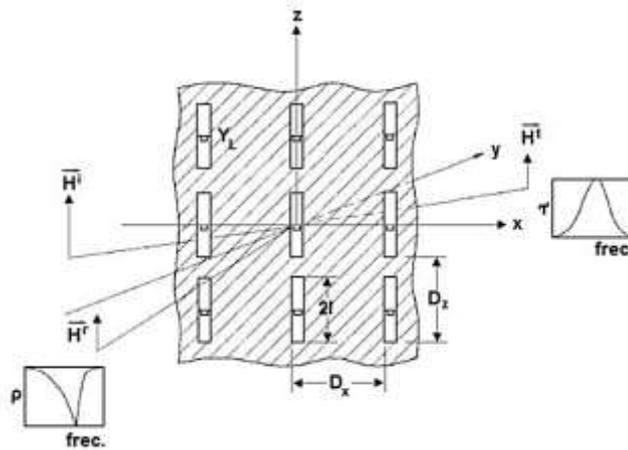
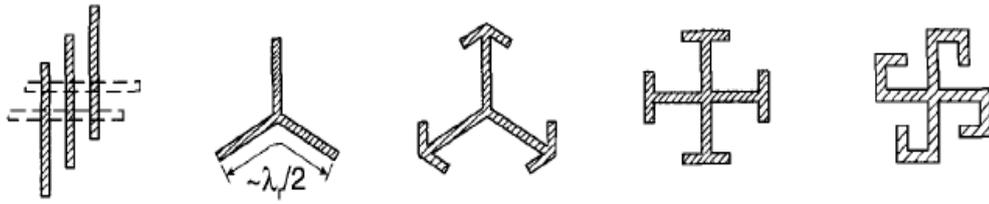


Figura 3.3. Arreglo de ranuras excitado por un plano de onda incidente Hⁱ.

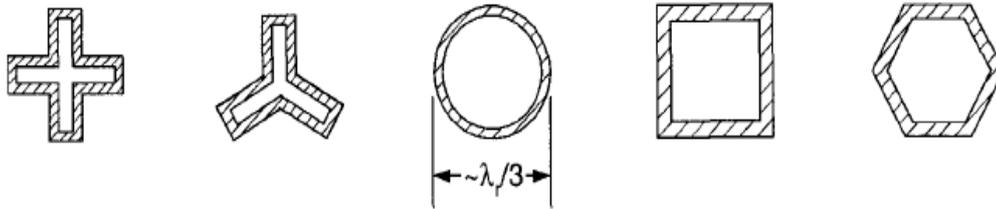
Fuente: (Munk, 2000)

3.2 Geometría de los elementos FSS.

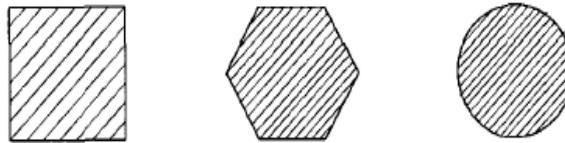
Las estructuras FSS se clasifican en cuatro grupos como muestra la figura 3.4.



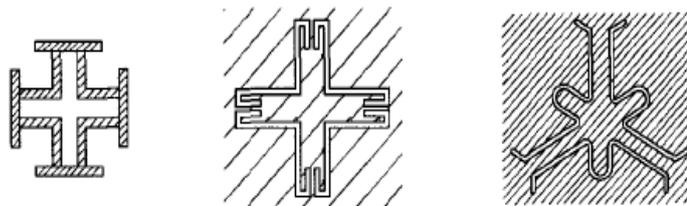
Grupo 1: Conectados al centro



Grupo 2: Tipo Lazo



Grupo 3: De interior sólido



Grupo 4: Combinaciones

Figura 3.4. Elementos típicos de FSS.

Fuente: (Munk, 2000)

El comportamiento de una FSS es enteramente determinado por la geometría de la superficie. Dependiendo de las características de la aplicación, existen diferentes diseños de FSS que pueden ser elegidos para satisfacer las demandas. Estas características incluyen niveles del ángulo de la onda incidente, niveles de polarización cruzada, ancho de banda y niveles de separación del ancho de banda (Munk, 2000).

3.3 FSS compuesta por lazos cuadrados concéntricos.

Según se plantea en (Costa, Genovesi, & Monorchio, 2013) las etiquetas pasivas compuestas por lazos cuadrados concéntricos explotan las propiedades de las superficies de alta impedancia (HIS, High Impedance Surface) para obtener una etiqueta compacta compuesta por solo algunas celdas de meta-superficie. Cuando estas estructuras resonantes introducen una adecuada atenuación, se logra una absorción perfecta en cada frecuencia de resonancia. En dependencia del diseño del grupo de lazos resonantes, la estructura puede almacenar varios bits. Los estados "reflexión total" y "absorción total" codifican un bit "0" o un bit "1" respectivamente. La estructura propuesta en (Costa, Genovesi, & Monorchio, 2013) es pasiva, compacta (hasta 1.5 cm), y puede fácilmente operar sobre una estructura metálica siendo esta utilizada como el plano de tierra.

3.3.1 Principio de operación y modelo circuital.

En (Costa, Genovesi, & Monorchio, 2013) los autores proponen una etiqueta *chipless* que está formada por una HIS finita compuesta por una FSS metálica montada sobre un dieléctrico muy delgado con plano de tierra, lo cual es básicamente una cavidad resonante caracterizada por una impedancia de entrada que tiende a infinito y cruces por cero de la fase de la señal reflejada en las frecuencias de resonancia. Si la estructura introduce una cantidad apropiada de pérdidas, en las frecuencias de resonancia se logra una absorción perfecta. Para crear una estructura multi-resonante capaz para funcionar como un *chipless* RFID, se emplea un elemento multi-resonador (grupo de lazos resonantes o celda) como la unidad básica de la FSS.

En la figura 3.5 se puede apreciar un esquema 3-D de la tarjeta *chipless* RFID propuesta en (Costa, Genovesi, & Monorchio, 2013). Los anillos anidados tienen un ancho de 0.468 mm y están separados por un espacio

del mismo tamaño. La periodicidad de la celda unitaria es igual a 15 mm. El sustrato elegido es el FR4.

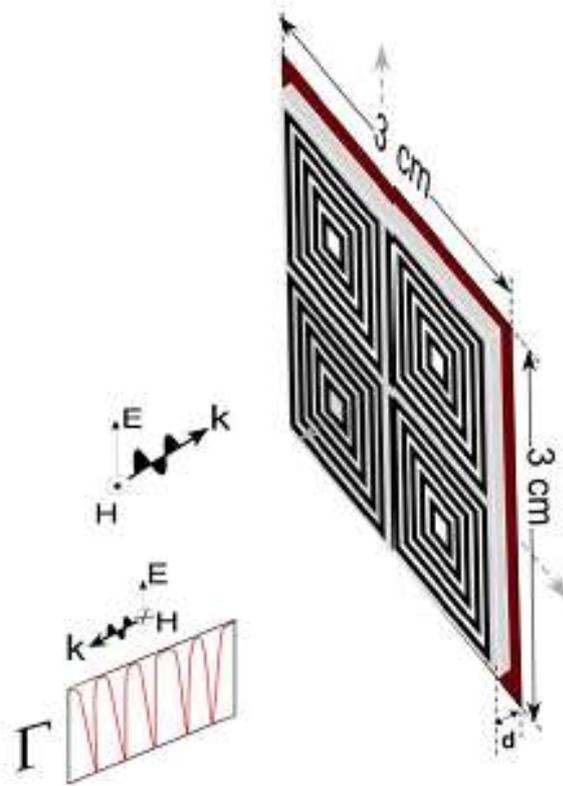


Figura 3.5. Esquema en 3-D de la tarjeta chipless RFID propuesta.

Fuente: (Costa, Genovesi, & Monorchio, 2013)

La impedancia de la superficie de la estructura multi-resonante HIS es igual a la conexión en paralelo entre la impedancia de la FSS (Z_{FSS}) y la impedancia de la superficie del dieléctrico con plano de tierra (Z_d) tal y como plantea la ecuación 3.3.

$$\begin{aligned}
 Z_{HIS} & \\
 &= \frac{Z_d Z_{FSS}}{Z_d + Z_{FSS}}
 \end{aligned}
 \tag{3.3}$$

La capa dieléctrica delgada se comporta como un inductor si su grosor es menor que $\lambda/4$ y su impedancia de entrada con incidencia normal resulta:

$$\begin{aligned} Z_d &= j\xi_m \tan(\beta d) \\ &= A + jB \end{aligned} \quad (3.4)$$

Donde:

Z_d : Impedancia de entrada de la lámina del dieléctrico,

ξ_m : Impedancia característica de la lámina dieléctrica y

β : Constante de propagación.

La impedancia característica de la lámina dieléctrica se calcula como:

$$\begin{aligned} \xi_m \\ = \frac{\xi_0}{\sqrt{\varepsilon'_r + j\varepsilon''_r}} \end{aligned} \quad (3.5)$$

Donde:

ξ_0 : Impedancia del espacio libre,

ε'_r : Parte real de la permitividad dieléctrica relativa del dieléctrico.

ε''_r : Parte imaginaria de la permitividad dieléctrica relativa del dieléctrico.

La constante de propagación se calcula como:

$$\begin{aligned} \beta \\ = k_0 \sqrt{\varepsilon'_r + j\varepsilon''_r} \end{aligned} \quad (3.6)$$

Donde:

k_0 : Número de onda del espacio libre.

Cada lazo de un grupo de lazos resonantes se comporta como un capacitor en la región de baja frecuencia y su impedancia se vuelve inductiva después de la resonancia; por lo tanto, su impedancia puede ser fácilmente modelada con un circuito serie LC. En consecuencia, la impedancia de un grupo de lazos resonantes es una estructura multi-resonante y el número de resonancias depende del número de lazos.

Considérese, para simplificar, una celda compuesta por sólo dos lazos cuadrados. En este caso, la impedancia FSS (ecuación 3.7) puede ser representada a través de una conexión en paralelo de dos resonadores LC

en serie donde L_1 , C_1 , L_2 y C_2 son parámetros que caracterizan el primer y el segundo lazo resonador.

$$Z_{FSS} = \frac{(1 - \omega^2 L_1 C_1)(1 - \omega^2 L_2 C_2)}{j\omega C_1(1 - \omega^2 L_2 C_2) + j\omega C_2((1 - \omega^2 L_1 C_1))} \quad (3.7)$$

$$= R + jX$$

Donde:

L_1, L_2 : Inductancias del primer y segundo lazo y

C_1, C_2 : Capacitancias del primer y segundo lazo.

La capacitancia de un modelo periódico, impreso sobre un sustrato con pérdidas no es puramente real, tiene una parte imaginaria representada por un resistor en paralelo, el cual toma en cuenta la energía que se disipa en el capacitor. Como consecuencia, la Z_{FSS} tiene una parte real y una parte imaginaria, como se muestra en (ecuación 3.7). Para una estructura ideal sin pérdidas, la parte real de la impedancia de entrada Z_R es cero y la magnitud de coeficiente de reflexión siempre es igual a uno. La impedancia de entrada de la HIS propuesta, realizada con un sustrato de bajas pérdidas se caracteriza por una parte real muy alto y por una parte imaginario que sufre una transición suave cruzando por cero. Una parte real muy alta conduce a una cantidad limitada de pérdidas por reflexiones. Cuando la parte real de la impedancia de entrada Z_{HIS} tiende a la impedancia del espacio libre, la estructura realiza una creciente absorción de la señal entrante. Cuando la condición de resonancia de la HIS, $X = -B$ se cumple, la parte real de Z_{HIS} se simplifica como sigue:

$$Re\{Z_R^{res}\} \approx \frac{B^2}{R} \quad (3.8)$$

Donde:

B : Parte imaginaria de la impedancia de entrada de la lámina dieléctrica y

R : Parte real de la impedancia de entrada de la FSS.

Donde el término $Re\{Z_R^{res}\}$ es directamente proporcional a la parte imaginaria de la impedancia de entrada del sustrato (Z_d) y es inversamente proporcional a la resistencia R de la FSS.

Otro aspecto importante a tener en cuenta para el análisis de la FSS es la resistencia de pérdidas dieléctricas la cual toma en cuenta las pérdidas óhmicas y dieléctricas. La expresión analítica de R_d a la frecuencia de resonancia fundamental se presenta a continuación:

$$R_d \cong \frac{-2\varepsilon_r''}{\omega C_0(\varepsilon_r' + 1)^2} \quad (3.9)$$

Donde:

C_0 : Representa la capacitancia de la estructura periódica sin sustrato dieléctrico.

Mientras mayor sean las pérdidas del dieléctrico, mayor será el valor de R_d . Si la capacitancia del FSS se incrementa (el espacio entre lazos cuadrados se reduce), el resistor decrece. Una vez seleccionada la configuración de la FSS (ej. cinco lazos), así como el tipo del sustrato (ej. FR4), la resistencia de pérdidas dieléctricas es impuesta. El grosor del sustrato puede ser ajustado para lograr absorción perfecta.

En consecuencia, el factor de calidad del circuito paralelo RLC ($Q = R_p\sqrt{C/L}$) es impuesto y es típicamente alto, donde R_p es el resistor en paralelo.

Al agregar circuitos serie LC, el circuito equivalente permite modelar la HIS con un mayor número de resonancias, donde cada circuito $R_iL_iC_i$ está relacionado con el i -ésimo lazo resonante dentro de una celda (véase figura 3.6).

En la figura 3.7, se aprecian las partes reales e imaginarias de la impedancia de entrada HIS para una celda unitaria de cinco anillos impresa sobre un sustrato FR4 de 1.6 mm.

Se logra una absorción perfecta en cada resonancia si la parte real de la impedancia de entrada es igual a la impedancia del espacio libre. Como es evidente en la figura 3.7, el valor de la parte real de la impedancia de entrada no es idéntico para todas las resonancias.

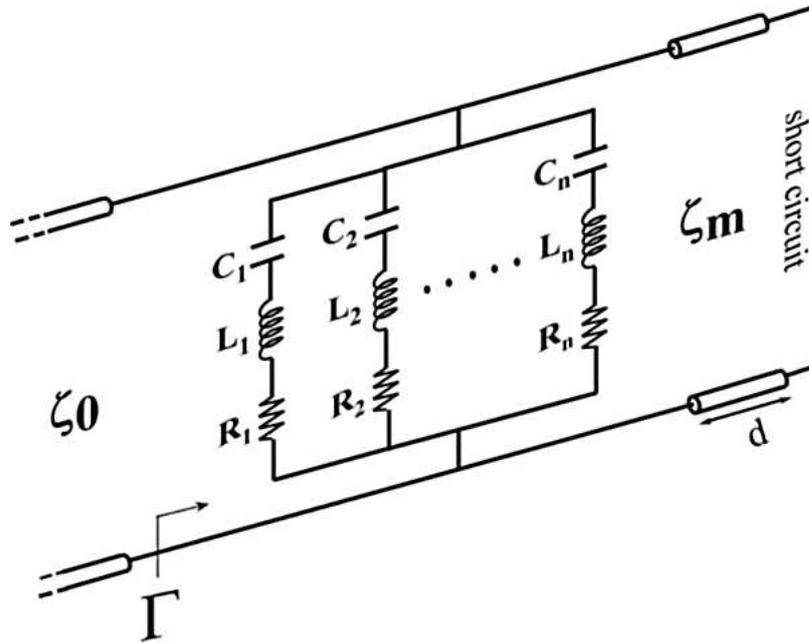


Figura 3.6. Modelo de circuito equivalente de línea de transmisión.

Fuente: (Costa, Genovesi, & Monorchio, 2013)

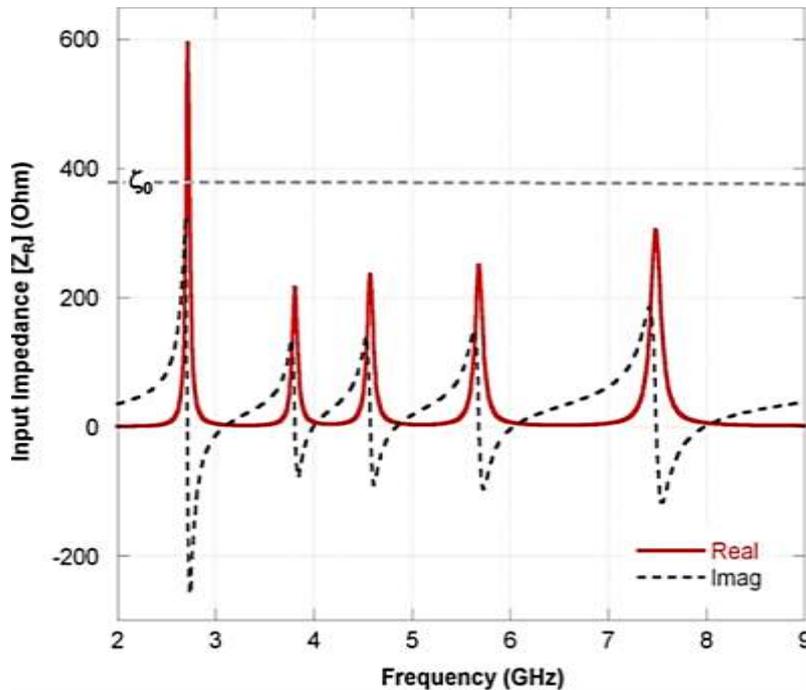


Figura 3.7. Impedancia de entrada de una FSS de cinco anillos impresa sobre un sustrato FR4 de 1.6 mm.

Fuente: (Costa, Genovesi, & Monorchio, 2013)

La primera resonancia se caracteriza por una parte real más alta que las de un orden superior. Esto implica, según la ecuación 3.8, que la disminución del grosor del sustrato determina una disminución en la parte real de la impedancia de entrada en la primera resonancia, lo que conduce a una mejor correspondencia con la impedancia del espacio libre.

A la inversa, la disminución del grosor del sustrato provoca un empeoramiento de la coincidencia en las resonancias de orden superior, ya que la impedancia de entrada se aleja de la impedancia del espacio libre. En este sentido, es importante indicar un sustrato con un grosor adecuado y se debe seleccionar una cantidad adecuada de pérdida para garantizar una buena coincidencia para todas las frecuencias resonantes. Para este propósito, es conveniente encontrar el grosor más adecuado del resonador con una simulación paramétrica que implique valores de grosor del sustrato cercanos al que conduce a una coincidencia perfecta en la resonancia fundamental (Costa, Genovesi, & Monorchio, 2013).

En la figura 3.8 se muestran tres celdas FSS diferentes impresas en la parte superior de un sustrato FR4 de 1.6 mm de espesor, cada una de las cuales codifica una cadena de datos de 5 bits diferente.

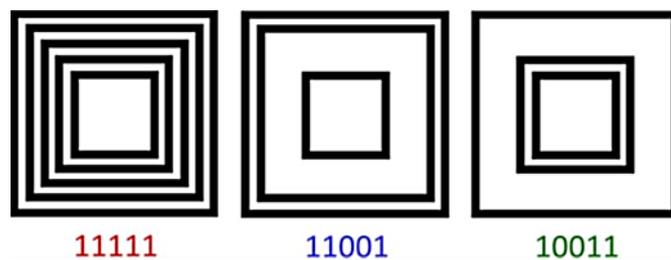


Figura 3.8. Ejemplo de secuencias de 5 bits obtenidas empleando diferentes celdas de FSS.

Fuente: (Costa, Genovesi, & Monorchio, 2013)

En la Fig. 3.9, se ilustran los coeficientes de reflexión de la HIS compuestos por una repetición infinita de las tres celdas unitarias antes planteadas.

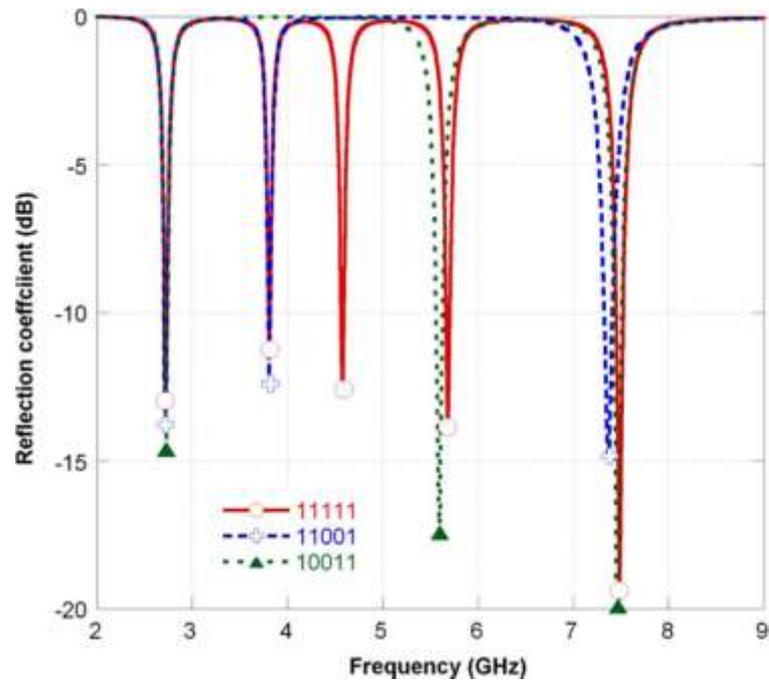


Figura 3.9. Comparación entre los coeficientes de reflexión de las tres secuencias de bits obtenidas a partir de las tres celdas unitarias del ejemplo planteado en la figura 3.8.

Fuente: (Costa, Genovesi, & Monorchio, 2013)

La presencia del pico de absorción codifica el bit 1, mientras que su ausencia a la frecuencia esperada revela la presencia del bit 0. Es evidente que todos los picos de absorción se caracterizan por una profundidad de al menos 10 dBi, lo que garantiza una buena inteligibilidad de las cadenas de bits.

3.3.2 Desempeño frente a incidencia oblicua

La evaluación de la estabilidad angular de la resonancia asociada con la información codificada es un aspecto importante a tener en cuenta para analizar el desempeño de un sistema de RFID. La impedancia de entrada se puede calcular utilizando la relación 3.4, pero los términos de esta relación pueden variar con la incidencia oblicua pues se pueden inducir diferentes modos (Costa, Genovesi, & Monorchio, 2013).

La posición de la frecuencia de resonancia depende del valor de las partes imaginarias de la impedancia del substrato con plano de tierra y de la impedancia de la FSS. No ocurren grandes afectaciones por la variación

del ángulo incidente porque el espesor del resonador es menor que la longitud de onda, mientras que este último depende de la celda de la FSS. Un lazo de poco grosor se caracteriza por una impedancia angular estable. La magnitud de coeficiente de reflexión está en cambio relacionada con la parte real de la impedancia de la FSS, el cual varía de acuerdo a la dependencia angular de la capacitancia de la FSS. El único efecto nocivo de incidencia oblicua es que puede provocar la aparición de picos de resonancia adicionales. Sin embargo, estas resonancias espurias no son un gran inconveniente porque el lector conoce con antelación las frecuencias en las cuales la señal codificada se puede presentar, por lo que puede despreciar fácilmente estas resonancias.

3.3.3 Rango de lectura.

El rango de lectura de una etiqueta pasiva está directamente relacionado con la sensibilidad del aparato receptor (lector transceptor). Como consecuencia, la estimación del rango de lectura puede ser realizada usando la fórmula convencional de ecuación de radar que se expresa en 3.10 (Costa, Genovesi, & Monorchio, 2013).

$$R_{range} = \sqrt[4]{\frac{G_T G_R \lambda^2 \sigma P_T}{(4\pi)^3 P_{min}}} \quad (3.10)$$

Donde:

P_T : Potencia transmitida,

λ : Longitud de onda,

G_T, G_R : Ganancias de las antenas transmisoras y receptoras del interrogador respectivamente,

P_{min} : Sensibilidad del receptor (la mínima potencia que puede detectar el receptor) y

σ : RCS (*Radar Cross Section*) de la etiqueta.

La RCS de la etiqueta RFID, está directamente relacionado con el tamaño de las etiquetas. La RCS puede ser estimada experimentalmente con los datos medidos con la siguiente ecuación:

$$\sigma = \frac{(4\pi)^3 r^4}{G_T^2 \lambda^2} |S_{21}|^2 \quad (3.11)$$

Donde:

r : Distancia entre la antena del interrogador y la antena de la etiqueta y

S_{21} : Raíz cuadrada de la potencia recibida sobre la transmitida.

Obviamente el rango de lectura mejora cuando la potencia emitida por el transmisor se incrementa y está en función de la ganancia de la antena trompeta usada como antena de referencia.

Capítulo 4. Diseño Superficies Selectivas en Frecuencia para etiquetas RFID pasivas sin chip.

En el presente capítulo se presenta el diseño y evaluación de tres superficies selectivas en frecuencia (FSS) con diferentes geometrías basadas en lazos concéntricos para etiquetas de RFID pasivas sin chip. El diseño se realiza auxiliándose del *software* Ansoft HFSS en su versión 15.0.2 el cual es un simulador de campos electromagnéticos de alto rendimiento que integra simulación, visualización, modelado sólido y automatización utilizando una interfaz gráfica de usuario amigable.

3.4 Requerimientos de diseño y geometría de las FSS propuestas.

Los requerimientos de diseño para las superficies selectivas en frecuencia deseadas son los siguientes:

- Frecuencia de Operación: 2-8 GHz.
- Distancia máxima de lectura: Mínimo de 2 metros.
- Absorción en las frecuencias de resonancia: > 0.7 .
- Material: para la fabricación de las FSS se utilizará cobre de 0.05 mm de espesor, sobre el sustrato FR4 (con una $\epsilon_r = 4.5 - j0.088$), con 2.0 mm de espesor.

Las estructuras multi-resonantes propuestas utilizan la notación o sintonía espectral para la codificación de los datos. La etiqueta es totalmente pasiva, por tanto, no requieren de batería para operar. La etiqueta codifica datos en el espectro de frecuencia teniendo por lo tanto un identificador único de notación espectral. La notación espectral se obtiene interrogando la etiqueta con una señal de onda continua multi-frecuencias de fase y amplitud constantes. La etiqueta recibe la señal de interrogación y codifica los datos en magnitud y fase dentro del espectro de frecuencias.

Las bandas de resonancia introducen atenuación de la amplitud y saltos de fase a la señal de interrogación transmitida en las frecuencias de resonancia que son detectadas como una atenuación abrupta de amplitud y saltos de fase por el lector. Con el objetivo de proporcionar separación, entre la señal transmitida y recibida, las antenas del lector pueden utilizar polarización cruzada, lo cual minimiza la comunicación cruzada entre las antenas transmisoras y receptoras, pero introduce restricciones en el posicionamiento y orientación de las etiquetas. La señal codificada llega entonces de retorno al lector. Esto permite al lector la utilización de dos criterios para la decodificación de los datos: amplitud y fase (Costa, Genovesi, & Monorchio, 2013).

En la figura 4.1 se muestra un esquema con las tres geometrías propuestas para la realización de los diseños de las FSS. Como se puede apreciar son estructuras formadas por varias celdas compuestas por lazos concéntricos de diferentes geometrías, los cuales son los responsables de codificar la cadena de bits. Los lazos concéntricos tienen 0.468 mm de ancho y están separados por una abertura de igual tamaño (0.468 mm).

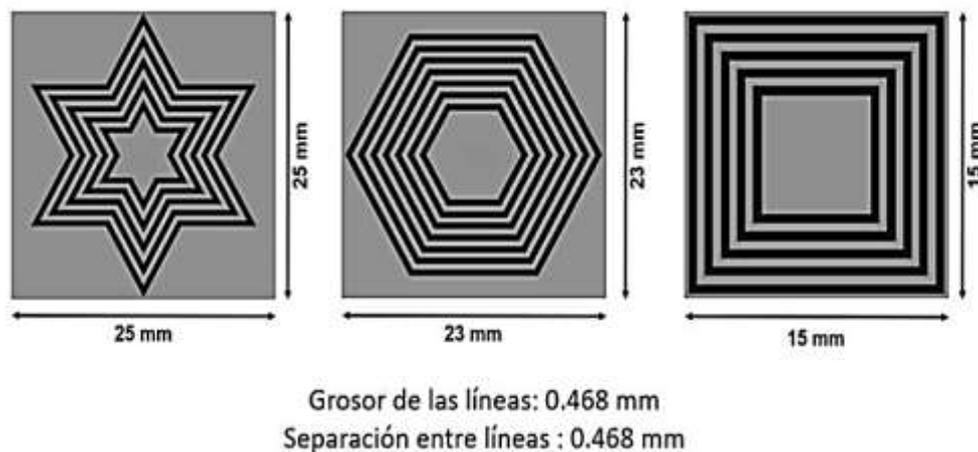


Figura 0.1. Geometría de las FSS propuestas.

Fuente: el autor.

3.5 Resultados de la simulación de las FSS.

El proceso de diseño y simulación de las FSS se realiza a partir de los siguientes pasos:

- Dibujar el modelo geométrico.
- Modificar los parámetros de diseño del modelo.
- Asignar variables los parámetros de diseño del modelo.
- Asignar condiciones de frontera (Master y Slave)
- Asignar excitación (Floquet Port)
- Especificar la configuración de la solución para el diseño.
- Validar el diseño.
- Ejecutar la simulación en HFSS.
- Graficar los resultados.

En la figura 4.2 se aprecia el modelado de las superficies selectivas en frecuencia compuestas por lazos concéntricos propuestos.

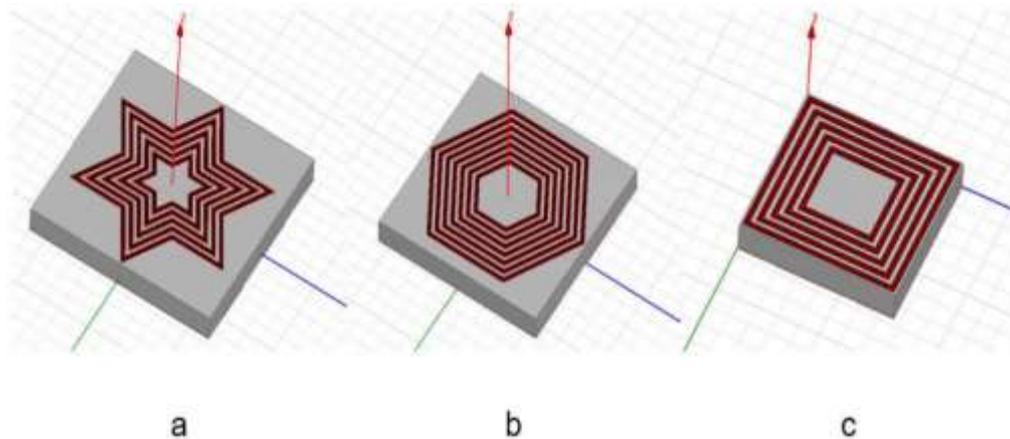


Figura 0.2. Modelos 3D de las FSS en HFSS, a) FSS compuesta por lazos fractales concéntricos, b) compuesta por lazos hexagonales concéntricos, c) compuesta por lazos cuadrados concéntricos.

Fuente: el autor.

Para el análisis matemático, estos arreglos se suponen con dimensiones infinitas y por lo tanto las FSS usualmente están constituidas de varios elementos. Los arreglos infinitos permiten el análisis utilizando un solo elemento de la matriz para calcular su respuesta en frecuencia, dada la naturaleza periódica de la FSS. Para el análisis de las estructuras se utilizó el teorema Floquet, empleado exclusivamente para la simulación de estructuras periódicas planas. Este teorema permite el análisis de la estructura infinita analizando una única celda del conjunto.

3.5.1 FSS compuesta por lazos fractales concéntricos.

La figura 4.3 muestra la parte real e imaginaria de la impedancia de entrada de la FSS compuesta por lazos fractales concéntricos que codifica la cadena “11111”, observándose impedancias cercanas a la impedancia característica del espacio libre en las frecuencias de resonancia del multi-resonador. Por otra parte, la parte imaginaria en cada una de las resonancias presenta cruces por cero.

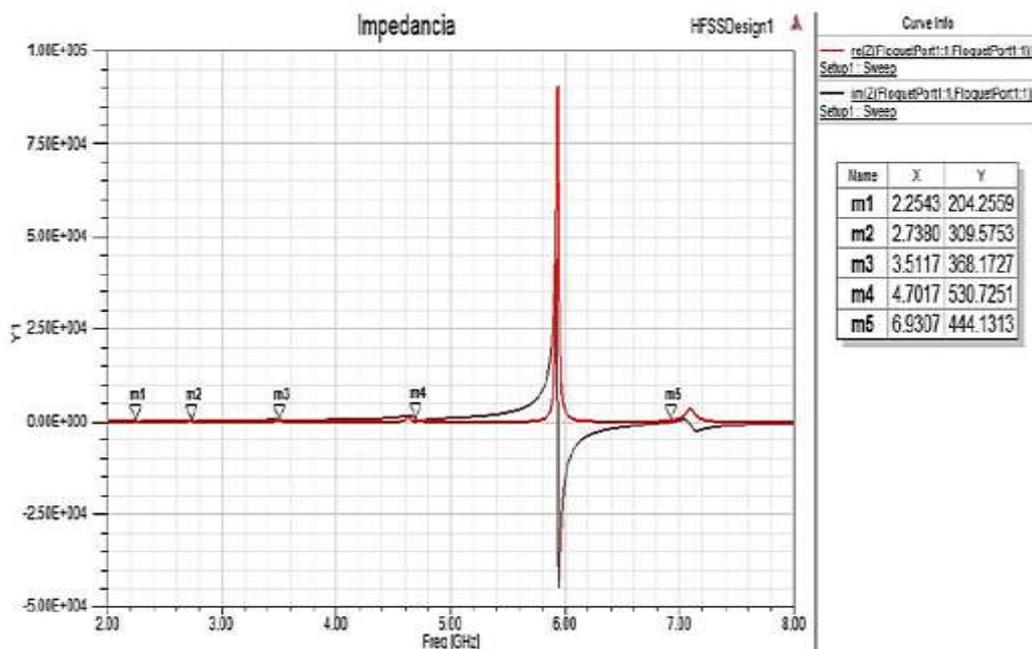


Figura 0.3. Impedancia de entrada de la FSS compuesta por lazos fractales concéntricos.

Fuente: el autor.

La absorción perfecta se logra cuando la parte real de la impedancia de entrada de la FSS se iguala con la impedancia del espacio libre (aproximadamente 377Ω). En este caso las impedancias no son iguales, pero se logran altos niveles de absorción como muestra la figura 4.4. La absorción en las frecuencias de resonancias es superior al 70% de la señal incidente en todos los casos e inferior al 10% para otras frecuencias, posibilitando la sintonía espectral.

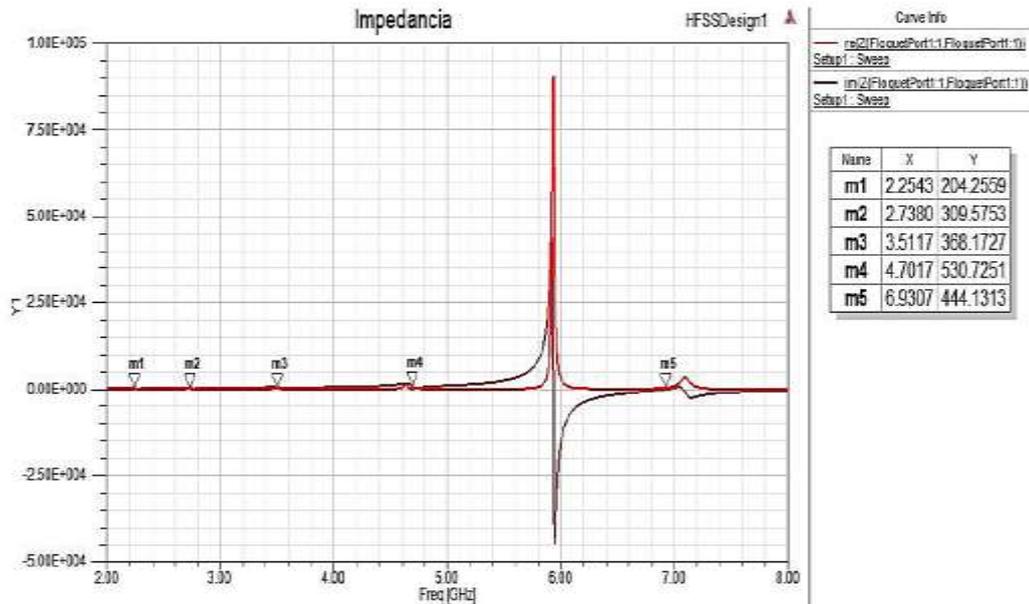


Figura 0.4. Absorción de la FSS compuesta por lazos fractales concéntricos que codifica la cadena “11111”.

Fuente: el autor.

La figura 4.5 muestra el resultado de calcular las pérdidas de retorno del multi-resonador obteniéndose valores inferiores a -6dB, ocasionando la intensa absorción de la señal incidente sobre la FSS en las resonancias, mostrada en la figura 4.4.

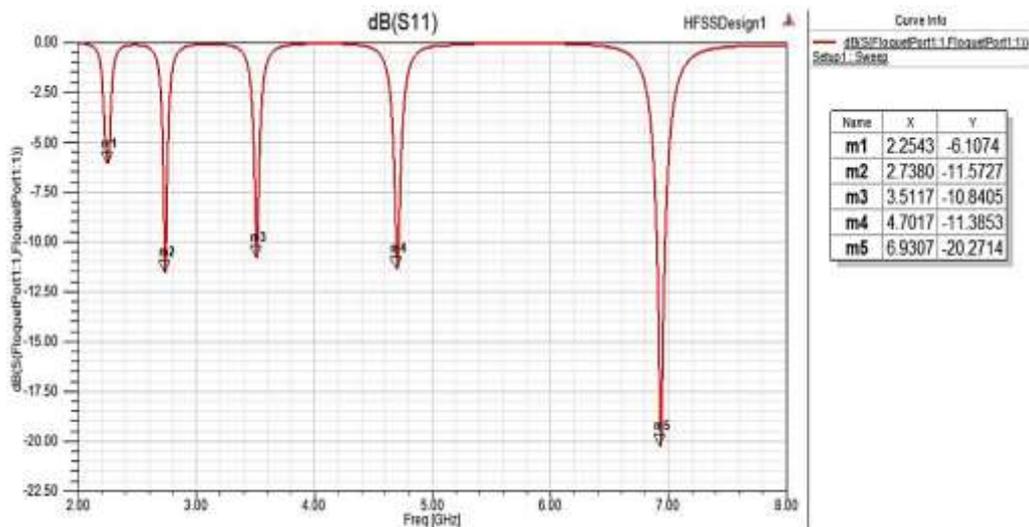


Figura 0.5. Pérdidas de retorno de la FSS compuesta por lazos fractales concéntricos. Fuente: el autor.

La figura 4.6 muestra una comparación entre las estructuras que codifican las cadenas “11111”, “10101” y “01001” en cuanto a la pérdida de retorno,

exponiéndose la desaparición de los picos en las posiciones donde las cadenas presentan ceros.

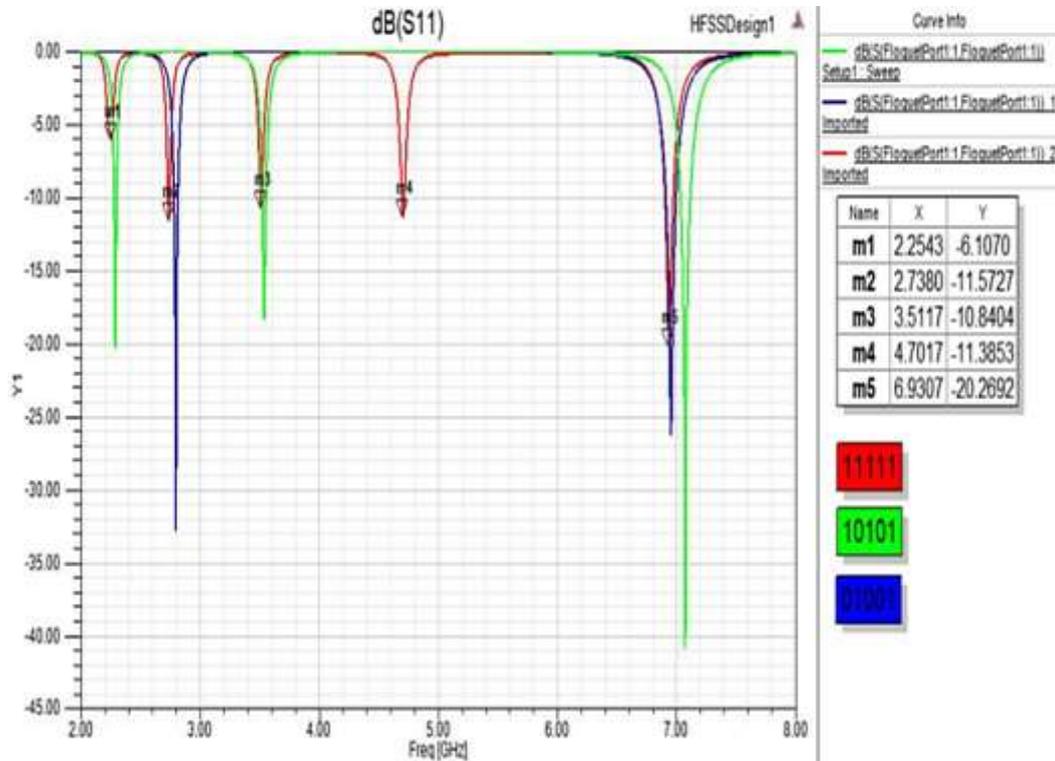


Figura 0.6. Pérdidas de retorno de las estructuras que codifican las cadenas “11111”, “10101” y “01001”.

Fuente: el autor.

3.5.2 FSS compuesta por lazos hexagonales concéntricos

La FSS compuesta por lazos hexagonales concéntricos presenta siete lazos permitiendo la codificación de cadenas de siete bits, lo que posibilita la codificación de 128 estados. La figura 4.7 muestra la parte real e imaginaria de la impedancia de entrada de la FSS compuesta por lazos hexagonales concéntricos que codifica la cadena “1111111”.

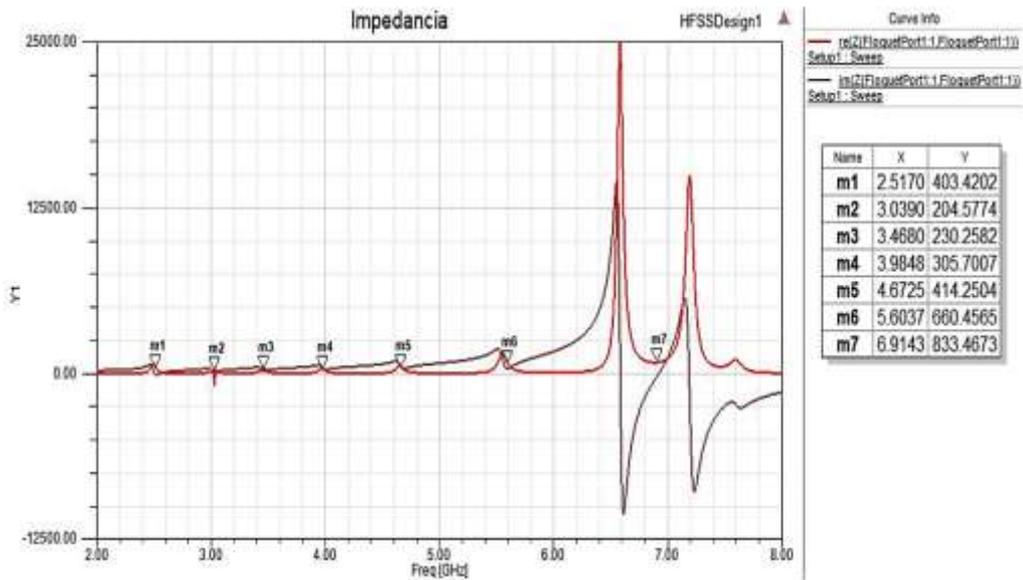


Figura 0.7. Impedancia de entrada de la FSS compuesta por lazos hexagonales concéntricos.

Fuente: el autor.

La figura 4.8 muestra la absorción de la señal incidente de la estructura multi-resonante, la cual es superior al 70% en las frecuencias de resonancias posibilitando la codificación espectral.

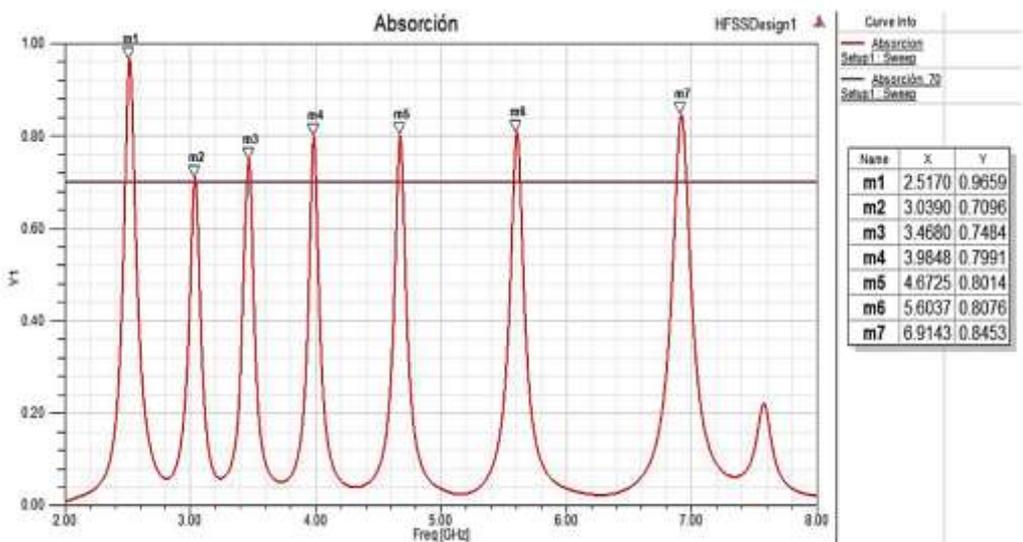


Figura 0.8. Absorción de la FSS compuesta por lazos hexagonales concéntricos que codifica la cadena "1111111".

Fuente: el autor.

La figura 4.9 muestra las pérdidas de retorno de la estructura multi-resonador obteniéndose valores inferiores a -5dB, ocasionando la aparición

picos de absorción de la señal incidente en las resonancias, como se muestra en la figura 4.8.

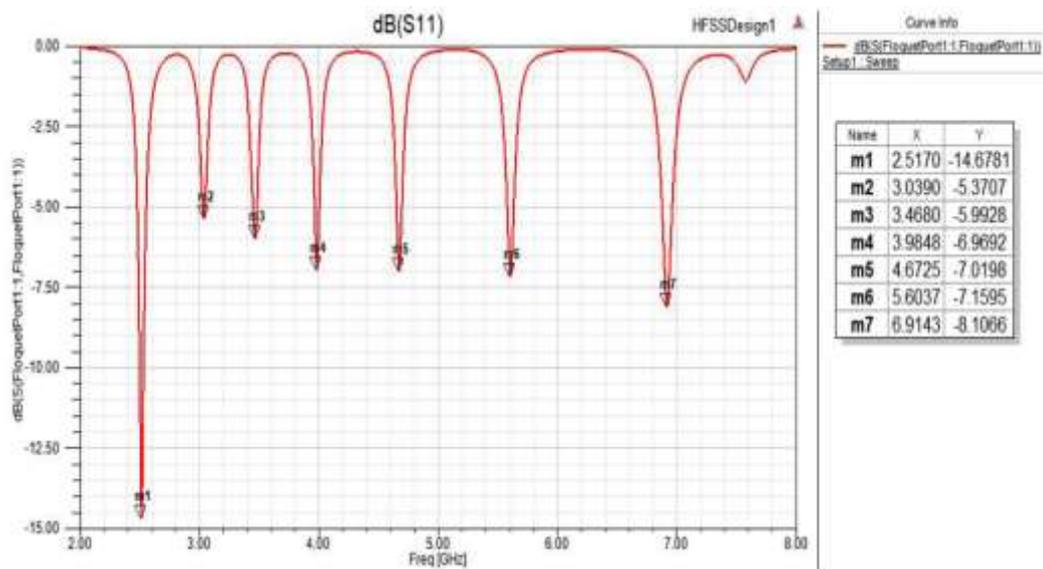


Figura 0.9. Pérdidas de retorno de la FSS compuesta por lazos hexagonales concéntricos.

Fuente: el autor.

La figura 4.10 muestra una comparación entre las estructuras que codifican las cadenas “1111111”, “0101001” y “1010101” en cuanto a la pérdida de retorno, exponiéndose la desaparición de los picos en las posiciones donde las cadenas presentan ceros.

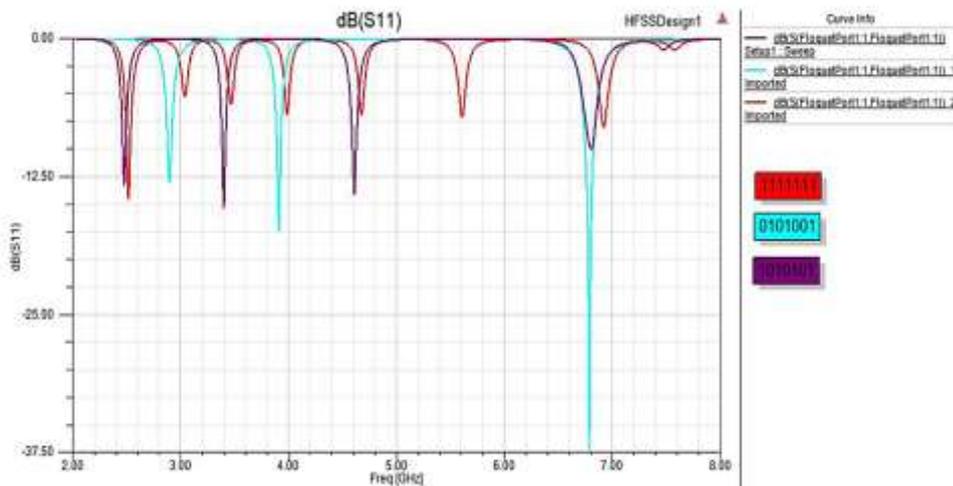


Figura 0.10. Pérdidas de retorno de las estructuras que codifican las cadenas “1111111”, “0101001” y “1010101”.

Fuente: el autor.

3.5.3 FSS compuesta por lazos cuadrados concéntricos

La figura 4.11 muestra la parte real e imaginaria de la impedancia de entrada de la FSS compuesta por lazos cuadrados concéntricos que codifica la cadena “11111”, observándose impedancias cercanas a la impedancia del espacio libre (aproximadamente 377Ω) en las frecuencias de resonancia del multi-resonador. Por otra parte, la parte imaginaria en cada una de las resonancias toma valores muy cercanos a cero.

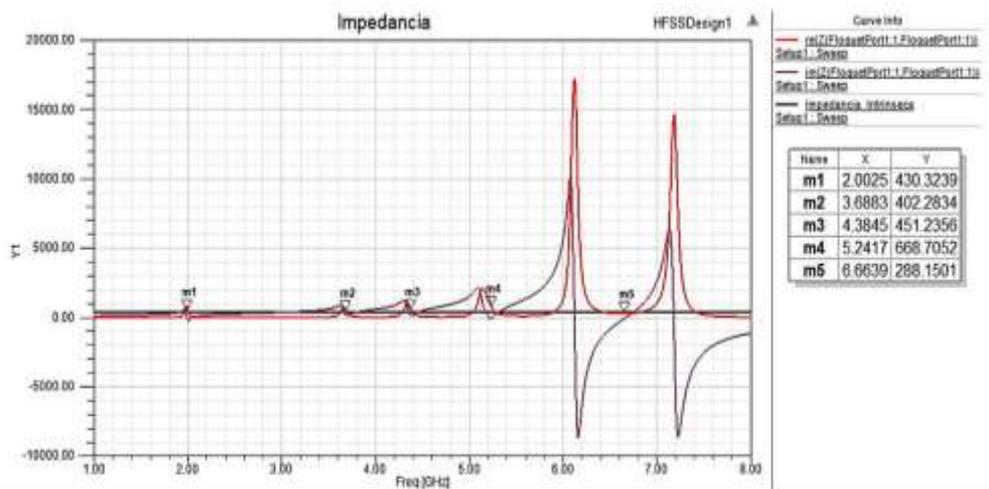


Figura 0.11. Impedancia de entrada de la FSS compuesta por lazos cuadrados concéntricos.

Fuente: el autor.

La figura 4.12 muestra la absorción de la señal incidente de la estructura multi-resonante, la cual es superior al 90% en las frecuencias de resonancias posibilitando la codificación espectral.

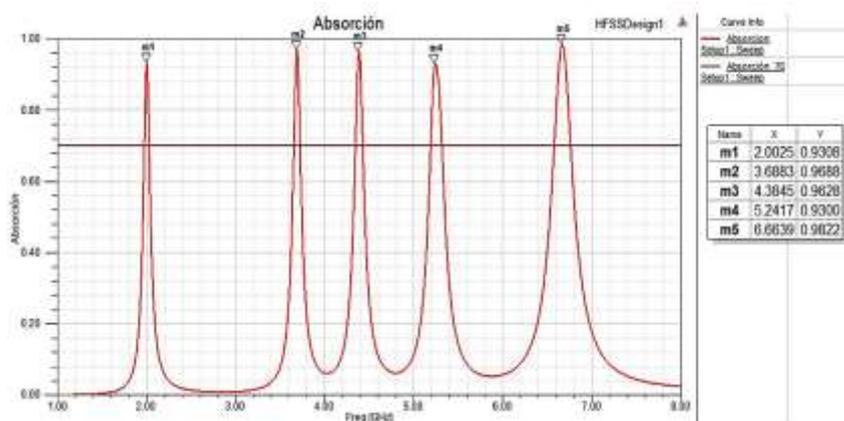


Figura 0.12. Absorción de la FSS compuesta por lazos cuadrados concéntricos que codifica la cadena “11111”.

Fuente: el autor.

La figura 4.13 muestra el resultado de calcular las pérdidas de retorno del multi-resonador obteniéndose valores por inferiores a -11dB .

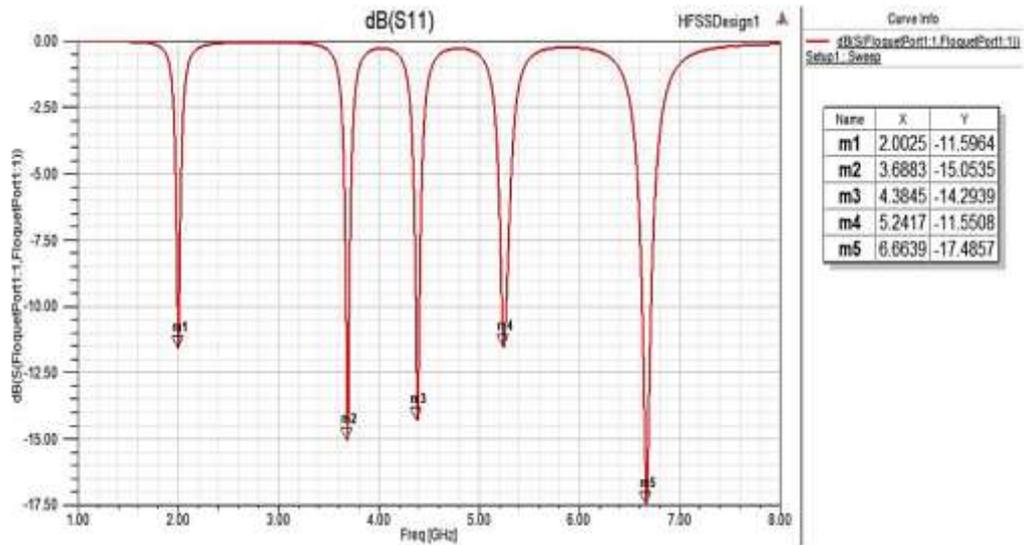


Figura 0.13. Pérdidas de retorno de la FSS compuesta por lazos cuadrados concéntricos.

Fuente: el autor.

La figura 4.14 muestra una comparación entre las estructuras que codifican las cadenas “11111”, “10101” y “10010”.

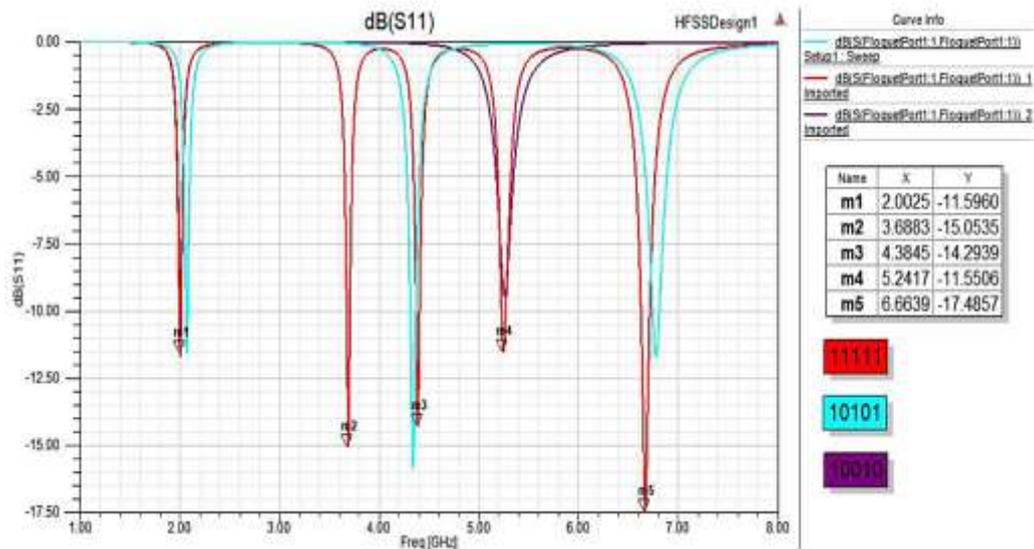


Figura 0.14. Pérdidas de retorno de las estructuras que codifican las cadenas “11111”, “10101” y “10010”.

Fuente: el autor.

La selección del sustrato adecuado para la fabricación de la estructura, así como su grosor son parámetros que permiten un mejor acoplamiento para todas las frecuencias de resonancia. La figura 4.15 presenta una comparación en cuanto a las pérdidas de retorno de tres estructuras multi-

resonantes que tienen sustratos de 1.0 mm, 1.5 mm y 2.0 mm. Se puede apreciar que la estructura que tiene el sustrato de 2 mm de grosor presenta un mejor acoplamiento en cada una de las resonancias.

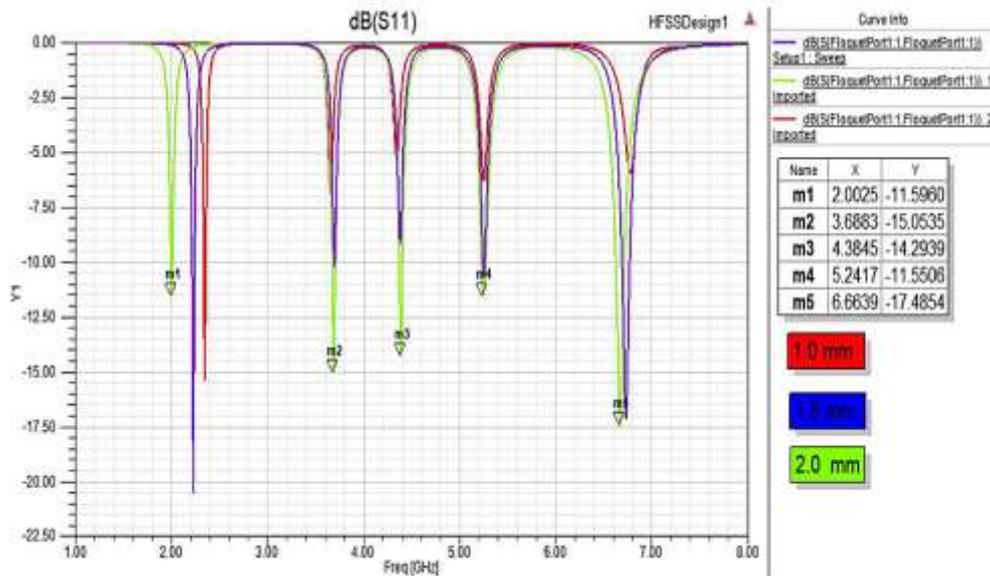


Figura 0.15. Comportamiento de las pérdidas de retorno de la FSS compuesta por lazos cuadrados concéntricos frente a variación del grosor del sustrato.

Fuente: el autor.

El análisis de estructura finita compuesta por lazos cuadrados concéntricos formada por un grupo de celdas 2x2 que se muestra en la figura 4.16 se realiza excitando la FSS con una onda incidente con intensidad del campo eléctrico $E_0 = 1V/m$, permitiendo analizar el comportamiento de la estructura frente a distintos ángulos de incidencia.

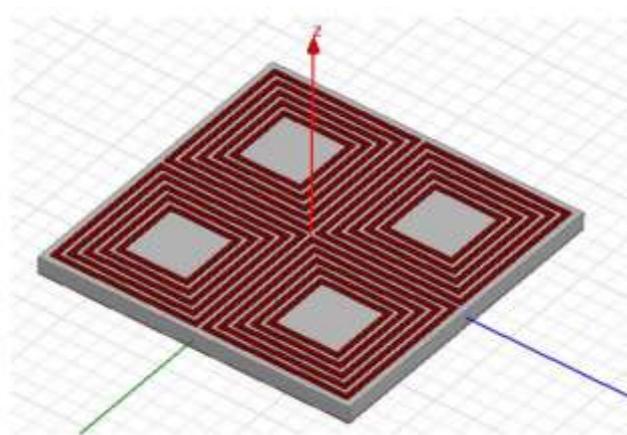


Figura 0.16. Simulación de la estructura compuesta por 2x2 celdas.

Fuente: el autor.

Para evaluar el desempeño de la etiqueta frente a la incidencia de oblicua se realizan variaciones de 15°, 30° y 45° en el ángulo de incidencia de la onda que excita la superficie selectiva en frecuencias.

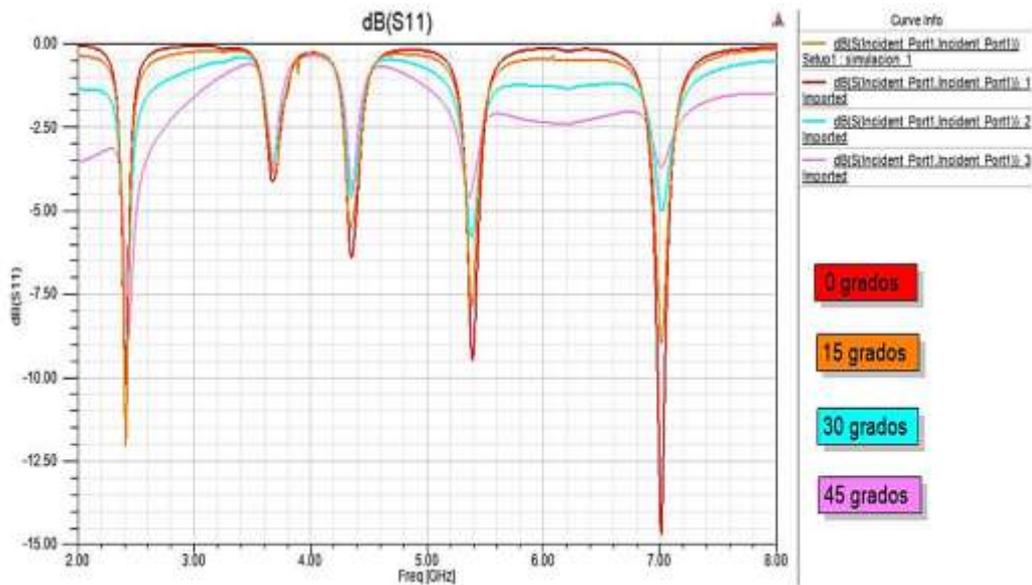


Figura 0.17. Comportamiento de las pérdidas de retorno frente a incidencia oblicua.

Fuente: el autor.

La figura 4.17 muestra el comportamiento de las pérdidas de retorno de la estructura finita frente a la variación del ángulo de la onda incidente. Se puede concluir que la variación del ángulo de incidencia no provoca modificaciones en la posición de las frecuencias de resonancia, permitiendo que no se afecte la información contenida en la estructura.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Al finalizar el presente trabajo en el que se realizó el diseño y evaluación de superficies selectivas en frecuencia para etiquetas RFID sin chip, se puede arribar a las siguientes conclusiones:

- Se logró diseñar superficies selectivas en frecuencia compuestas por lazos concéntricos con diferentes geometrías sobre un sustrato de FR4 de 2.0 mm de espesor con plano de tierra mostrando resonancias entre 2 y 8 GHz, con una absorción superior al 70% en las frecuencias de resonancia e inferior al 10% fuera de estas. Por lo tanto, queda demostrado que las tres estructuras diseñadas cumplen con las características necesarias para ser empleadas como etiquetas pasivas de RFID sin chip.
- La etiqueta compuesta por lazos cuadrados concéntricos produce una mayor absorción en cada frecuencia de resonancia por lo cual se considera el diseño que mejor responde a los requerimientos de la aplicación.
- Del análisis realizado al comportamiento de la FSS compuesta por lazos cuadrados concéntricos frente a variaciones del grosor del sustrato se mostró que se logra un mejor acoplamiento de la estructura para un sustrato de 2.0 mm de grosor.
- De la evaluación a la respuesta de la estructura multi-resonante frente a la incidencia oblicua de la onda de excitación se concluye que para variaciones de 0° a 45° no se producen afectaciones en la posición de las frecuencias de resonancia permitiendo que no se afecte la información contenida en la etiqueta.

Recomendaciones

- Realizar pruebas con otras estructuras diseñadas de manera que cumplan con las características necesarias para ser empleadas como etiquetas pasivas de RFID sin chip
- Comprobar los resultados obtenidos con configuraciones de diferente geometría en cada frecuencia resonante para determinar el diseño que mejor responde a los requerimientos de la aplicación
- Analizar resultados del acoplamiento de la estructura para sustratos de diferente grosor
- Realizar el montaje físico de las estructuras multi-resonantes y realizar otras pruebas para evaluar el desempeño de las etiquetas diseñadas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahson, S., & Ilyas, M. (2008). *RFID handbook : applications, technology, security, and privacy*. CRC Press.
- Chandra Karmakar, N. (2010). *Handbook of smart antennas for RFID systems*. John Wiley & Sons.
- Costa, F., Genovesi, S., & Monorchio, A. (2013). A Chipless RFID Based on Multiresonant High-Impedance Surfaces. *IEEE TRANSACTIONS ON MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES*, 61(1).
- Heras, A., Ias, F., Gómez, C., Franco, M. E., & Marzábal, M. (2009).
- Jirasereeamornkol, J. W. (2005). Power Harvest Design for Semi-Passive UHF RFID Tag Using a Tunable Impedance Transformation. *9th Internatinal Symposium on Communications and Information Tech*, 1441-1445.
- Munk, B. A. (2000). *Frequency Selective Surfaces. Theory and Design*. John Wiley & Sons.
- Pereira de Siqueira Campos, A. (2008). *Superfícies Seletivas em Frequência: análise e projeto*. IFRN.
- Preradovic, S., & Karmakar, N. C. (2012). *Multiresonator-Based Chipless RFID. Barcode of the future*. Springer.
- San José, J., Pastor, J., & García, A. (2012). RFID: La Identificación por Radiofrecuencia como futuro de la identificación de objetos. Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/275020704>
- Sánchez, R. (2014). *ETIQUETA PASIVA DE RFID SIN CHIP PARA SENSADO DE MATERIALES*. Tesis en opción al grado de Maestro en Ciencias en la especialidad de Electrónica., Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica., Puebla. México.
- Santos Estupiñán, P. A. (2016). *Diseño de una antena tag RFID pasiva de orden cero (ZOR) en UHF con metamateriales*. Guayaquil.
- Telectrónica. (2006). *Introducción a la identificación por Radio Frecuencia-RFID*.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Sigla

Significado

ASIC	<i>Aplication Specific Integrate Circuit</i>
CI	<i>Integrated Circuit</i>
FSS	<i>Frequency Selective Surface</i>
HF	<i>High Frequency</i>
HIS	<i>High Impedance Surface</i>
IZ	<i>Interrogation Zone</i>
LF	<i>Low Frequency</i>
LT	<i>Línea de Transmisión</i>
OEM	<i>Ondas Electromagnéticas</i>
PCB	<i>Printed Circuit Board</i>
RCS	<i>Radar Cross Section</i>
RF	<i>Radio Frequency</i>
RFID	<i>Radio Frequency Identification</i>
SAW	<i>Surface Acoustic Wave</i>
TDR	<i>Time Domain Reflectometry</i>
TFTC	<i>Thin-Film-Transistor-Circuits</i>
UHF	<i>Ultra High Frequency</i>

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Rolando Edison Carrera Fernández**, con C.C: # **0926989229** autor del trabajo de Maestría Titulada: **Diseño y evaluación de superficies selectivas en frecuencia para etiquetas pasivas de RFID sin chip**, previo a la obtención del título de **Magíster 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 25 días del mes de junio de 2020



f. _____
Nombre: **Rolando Edison Carrera Fernández**
C.C: **0926989229**



REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA		
FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN		
TÍTULO Y SUBTÍTULO:	Diseño y evaluación de superficies selectivas en frecuencia para etiquetas pasivas de RFID sin chip	
AUTOR(ES)	Rolando Edison Carrera Fernández	
REVISOR(ES)/TUTOR	MSc. Edgar Quezada Calle; MSc. Luis Córdova Rivadeneira / MSc. Manuel Romero Paz	
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica Santiago de Guayaquil	
FACULTAD:	Sistema de Posgrado	
PROGRAMA:	Maestría en Telecomunicaciones	
TÍTULO OBTENIDO:	Magister en Telecomunicaciones	
FECHA DE PUBLICACIÓN:	Guayaquil, 25 de junio de 2020	No. DE PÁGINAS: 69
ÁREAS TEMÁTICAS:	Fundamentos de RFID, Etiquetas RFID, Superficies Selectivas en Frecuencia, Geometría de los elementos FSS, Rango de lectura, Aplicaciones de RFID	
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	RFID, chipless, tag, FSS, ASIC, HIS.	
RESUMEN/ABSTRACT:	<p>En este trabajo se realiza el diseño y evaluación de Superficies Selectivas en Frecuencia para etiquetas pasivas de Sistemas de Identificación por Radiofrecuencia (RFID) sin chip (chipless RFID). Para este fin se analizan los fundamentos teóricos de los sistemas RFID, sus características y clasificación de las etiquetas, haciendo especial énfasis en el estudio de las etiquetas que no poseen chip. Se detallan los fundamentos de las Superficies Selectivas en Frecuencia (FSS, por sus siglas en inglés), su principio de operación y geometría, profundizando en las FSS de tipo lazo, especialmente las formadas por lazos cuadrados concéntricos. Se describe el diseño de tres FSS compuestas por lazos concéntricos con diferentes geometrías que operan en la banda de las microondas entre los 2 y los 8 GHz. Se utiliza el programa Ansoft HFSS en la versión 15.0.2 para la simulación de las estructuras y realizar su posterior evaluación. Se aplica el método exploratorio, para analizar la situación existente, su caracterización y utilidad práctica de los sistemas RFID convencionales y los novedosos sistemas RFID sin chip, con lo cual se emplea el método descriptivo para examinar los datos conseguidos y aplicarlos para el objeto de este trabajo. El modelo Empírico-Analítico es usado con una perspectiva Cuantitativa a través de la aplicación de las matemáticas para describir los procesos ensayados en esta investigación, y la elaboración de los esquemas de los arreglos planteados. Es Experimental considerando que se evalúa el comportamiento de las estructuras diseñadas frente a variaciones del grosor del sustrato y bajo el efecto de la incidencia oblicua de la onda de excitación.</p>	
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593-985916543	E-mail: r.carrera@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):	