

ANÁLISIS Y ADAPTACIÓN DE UNA ANTENA IMPRESA PERIÓDICA UTILIZADA  
EN ESTANTERIAS INTELIGENTES DEL LABORATORIO DE LOGÍSTICA DE LA  
UIS.

HÉCTOR IVÁN YÁÑEZ GUTIÉRREZ

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES  
BUCARAMANGA  
2016

ANÁLISIS Y ADAPTACIÓN DE UNA ANTENA IMPRESA PERIÓDICA UTILIZADA  
EN ESTANTERIAS INTELIGENTES DEL LABORATORIO DE LOGÍSTICA DE LA  
UIS.

HÉCTOR IVÁN YÁÑEZ GUTIÉRREZ

Trabajo de Grado para Optar el Título de  
Ingeniero Electrónico

Director

EFRÉN DARIO ACEVEDO CÁRDENAS  
Ingeniero Electrónico, MS.c

Codirector

OSCAR MAURICIO REYES TORRES  
Ingeniero Electrónico, Ph. D

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES  
BUCARAMANGA  
2016

*A Dios, que siempre me guía y me fortalece.*

*A mi familia por su comprensión, amor y apoyo incondicional.*

*A mi director de grado Efrén Darío Acevedo*

*A mi novia y amigos porque siempre han sido como una familia para mí.*

*Héctor Iván Yáñez Gutiérrez.*

## **AGRADECIMIENTOS**

El autor expresa sus agradecimientos a:

- Dios, por permitirme realizar y terminar este proyecto.
- Ingeniero Efrén Darío Acevedo Cárdenas por su colaboración y orientación durante el proyecto.
- Mis padres y amigos con quienes he contado siempre y a quienes les debo quien soy.

# CONTENIDO

Pág.

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>14</b>
<b>1. OBJETIVOS</b> .....	<b>16</b>
1.1. OBJETIVO GENERAL .....	16
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	16
<b>2. SISTEMAS RFID</b> .....	<b>17</b>
2.1. FUNDAMENTOS DE RFID .....	17
2.2. CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS RFID .....	18
2.2.1. RFID de campo cercano.....	18
2.2.2. RFID de campo lejano.....	19
2.3. ANTENAS LECTORAS RFID.....	20
2.3.1. Polarización de antenas lectoras.....	21
2.4. CADENA DE SUMINISTRO .....	23
2.4.1. Estanterías inteligentes.....	24
2.5. FRECUENCIAS, REGLAMENTOS Y ESTANDARIZACIÓN .....	26
2.5.1. Frecuencias y Reglamentos.....	26
2.5.2. Estandarización.....	26
2.5.2.1. ISO/IEC 18000.....	29
2.5.2.2. EPC.....	29
2.6. MEDIOS DE TRANSMISIÓN .....	30
2.6.1. Líneas de transmisión.....	30
2.6.2. Impedancia característica.....	33
2.6.3. Impedancia de entrada.....	35
2.6.3.1. Casos Especiales.....	37
2.7. CONFIGURACIÓN MEANDRO CON LÍNEAS MICROSTRIP .....	39
<b>3. DISEÑO Y ESTIMACIÓN DE PARAMETROS DE ANTENAS IMPRESAS</b> .....	<b>42</b>
3.1. REDISEÑO DE LA ANTENA .....	42
3.1.1. Parámetros físicos de la antena de referencia.....	42

3.1.2.	Adaptación de los parámetros físicos de la antena final.....	44
<b>4.</b>	<b>SIMULACIÓN .....</b>	<b>45</b>
4.1.	ANÁLISIS PARA LAS SIMULACIONES CON LAS DIMENSIONES DE INTERÉS. ....	46
4.1.1.	Caso 1. Análisis del modelo de antena con las líneas metálicas rectas.....	47
4.1.2.	Caso 2. Análisis del modelo de antena con líneas metálicas a 30° ..	49
4.1.3.	Caso 3. Análisis del modelo de antena con líneas metálicas a 45° .....	50
4.1.4.	Caso 4. Análisis del modelo de antena con líneas metálicas a 30° y 45° .....	52
4.1.5.	Caso 5. Análisis del modelo de antena con líneas metálicas según el modelo de referencia. ....	54
<b>5.</b>	<b>IMPLEMENTACIÓN Y RESULTADOS .....</b>	<b>59</b>
<b>6.</b>	<b>CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES.....</b>	<b>63</b>
	<b>CITAS.....</b>	<b>65</b>
	<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>66</b>
	<b>ANEXO .....</b>	<b>68</b>

## LISTAS DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA 1. CONFIGURACIÓN TÍPICA DE UN SISTEMA RFID. ....	18
FIGURA 2. ESQUEMA DEL ACOPLAMIENTO INDUCTIVO ENTRE EL LECTOR Y EL TRANSPONDEDOR. ....	19
FIGURA 3. POLARIZACIÓN LINEAL HORIZONTAL.....	22
FIGURA 4. POLARIZACIÓN CIRCULAR (DERECHA). ....	22
FIGURA 5. PLANO DE DISTRIBUCIÓN DEL LABORATORIO DE LOGÍSTICA DE LA UIS. ....	24
FIGURA 6. ESTANTERÍA USADA EN EL LABORATORIO DE LOGÍSTICA DE LA UIS. ....	25
FIGURA 7. PRINCIPALES RANGOS DE FRECUENCIA PARA APLICACIONES RFID.....	26
FIGURA 8. FRECUENCIAS USADAS MÁS COMUNES A NIVEL MUNDIAL. ....	27
FIGURA 9. MAPA SEGÚN REGULACIONES INTERNACIONALES. ....	28
FIGURA 10. DIAGRAMA DE UNA LÍNEA DE TRANSMISIÓN. ....	31
FIGURA 11. CORTE DE UNA LÍNEA DE TRANSMISIÓN PARA EL ANÁLISIS DE LA IMPEDANCIA DE ENTRADA. ....	35
FIGURA 12. EJEMPLO DE DIPOLO DOBLADO O DIPOLO MEANDRO. ....	40
FIGURA 13. CORRIENTES DE POLARIZACIÓN DEL DIPOLO MEANDRO.....	40
FIGURA 14. ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA INDUCTANCIA, LA CAPACITANCIA Y LA FRECUENCIA DE RESONANCIA SEGÚN EL TAMAÑO DEL DIPOLO MEANDRO.....	41
FIGURA 15. DIAGRAMA DEL MODELA DE LA ANTENA SEGÚN EL ARTÍCULO DE ESTUDIO CON DIMENSIONES DE 20CM X 75CM. ....	43
FIGURA 16. CALCULO DE PARÁMETRO S-11 PARA LAS DIMENSIONES DE LAS LÍNEAS METÁLICAS ESTUDIADAS EN EL ARTÍCULO. ....	43
FIGURA 17. DIAGRAMA CARA FRONTAL EN CST DEL MODELO FINAL DE LA ANTENA (LÍNEAS METÁLICAS). ....	45
FIGURA 18. DIAGRAMA CARA POSTERIOR EN CST DEL MODELO FINAL DE LA ANTENA (MEANDRO). ....	46
FIGURA 19. DIAGRAMA DE LA ANTENA CON LAS LÍNEAS METÁLICAS RECTAS PARA EL ANÁLISIS EN CST. ....	47
FIGURA 20. DIAGRAMA DEL PARÁMETRO S-11 EN CST PARA T2=60, VARIANDO T1.....	48
FIGURA 21. DIAGRAMA DEL PARÁMETRO VSWR EN CST PARA T2=60 VARIANDO T1. ....	48
FIGURA 22. DIAGRAMA DE LA ANTENA CON LAS LÍNEAS METÁLICAS A 30° PARA EL ANÁLISIS EN CST .....	49
FIGURA 23. DIAGRAMA DEL PARÁMETRO S-11 EN CST PARA T2=60, VARIANDO T1.....	49
FIGURA 24. DIAGRAMA DEL PARÁMETRO VSWR EN CST PARA T2=60 VARIANDO T1. ....	50
FIGURA 25. DIAGRAMA DE LA ANTENA CON LAS LÍNEAS METÁLICAS A 45° PARA EL ANÁLISIS EN CST.....	51
FIGURA 26. DIAGRAMA DEL PARÁMETRO S-11 EN CST PARA T2=60, VARIANDO T1.....	51
FIGURA 27. DIAGRAMA DEL PARÁMETRO VSWR EN CST PARA T2=60 VARIANDO T1. ....	52

FIGURA 28. DIAGRAMA DE LA ANTENA CON LAS LÍNEAS METÁLICAS A 30° Y 45° PARA EL ANÁLISIS EN CST. .	53
FIGURA 29. DIAGRAMA DEL PARÁMETRO S-11 EN CST PARA T2=60, VARIANDO T1. ....	53
FIGURA 30. DIAGRAMA DEL PARÁMETRO VSWR EN CST PARA T2=60, VARIANDO T1. ....	54
FIGURA 31. DIAGRAMA EN CST DEL MODELO FINAL DE LA ANTENA. ....	55
FIGURA 32. DIAGRAMA DEL PARÁMETRO S-11 EN CST PARA LA ANTENA RFID EN LA BANDA UHF DE DIMENSIONES 90CM X 35CM. ....	55
FIGURA 33. DIAGRAMA DEL PARÁMETRO VSWR EN CST PARA EL DISEÑO FINAL DE LA ANTENA. ....	56
FIGURA 34. GANANCIA DE CAMPO LEJANO. ....	56
FIGURA 35. DIAGRAMA DE RADIACIÓN DE LA ANTENA. ....	57
FIGURA 36. IMPEDANCIA DE ENTRADA DENTRO DEL RANGO DE VSWR. ....	57
FIGURA 37. PARÁMETROS S DENTRO DE LA REGIÓN DEL VSWR. ....	58
FIGURA 38. ANTENA IMPRESA PERIÓDICA RFID 900 MM X 350 MM. ....	59
FIGURA 39. PARÁMETRO S-11 MEDIDO VS. SIMULADO. ....	60
FIGURA 40. PARÁMETRO VSWR OBTENIDO DE LA MEDICIÓN DE S-11 DEL VNA. ....	61
FIGURA 41. ANTENA EN FUNCIONAMIENTO. ....	61
FIGURA 42. ANTENA IMPRESA PERIÓDICA RFID 900 MM X 350 MM. ....	68

## LISTA DE TABLAS

**Pág.**

TABLA 1. PARÁMETROS QUE MODELAN EL DISEÑO DE LA ANTENA PARA LA ADAPTACIÓN A LAS ESTANTERÍAS INTELIGENTES DE LA UIS. ....	44
TABLA 2. DATOS OBTENIDOS DE LA LECTURA DE 9 PRODUCTOS EN EL LABORATORIO DE LOGÍSTICA DE LA UIS. ....	62
TABLA 3. ESPECIFICACIONES FÍSICAS. ....	68
TABLA 4. ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS. ....	68

## RESUMEN

**TITULO:** ANALISIS Y ADAPTACION DE UNA ANTENA IMPRESA PERIODICA UTILIZADA EN ESTANTERIAS INTELIGENTES DEL LABORATORIO DE LOGISTICA DE LA UIS\*.

**AUTORES:** HECTOR IVAN YAÑEZ GUTIERREZ\*\*

**PALABRAS CLAVE:** Microstrip, Línea tipo meandro, Tecnología RFID.

### DESCRIPCIÓN:

En este trabajo se presenta el proceso de adaptación del diseño de una antena lectora de Identificación por Radio Frecuencia (RFID) en la banda de Ultra Alta Frecuencia (UHF) para ser utilizada en una aplicación de plataforma de estanterías inteligentes; diseño basado en el acoplamiento electromagnético entre la línea de alimentación meandro de composición abierta y líneas metálicas planas periódicas tomado de [1]. El trabajo de análisis y adaptación busca diseñar e integrar una antena que trabaje a una frecuencia de resonancia entre 902 y 928 MHz; banda de frecuencia permitida para este país. Este modelo de antena de bajo costo busca cumplir con las funciones de adquisición de la información en tiempo real de los elementos y posición dentro del espacio de almacenamiento.

El estudio y rediseño de esta antena RFID esta soportado en el análisis teórico de las líneas de transmisión que han sido validadas con simulaciones en el software CST STUDIO SUITE 2016, respaldando la investigación con resultados gráficos de los principales parámetros de antena. Finalmente se implementa el prototipo con el propósito de validar los resultados simulados comparándolos con los parámetros medibles. El producto de este trabajo busca soportar el mejoramiento del laboratorio de logística de la Escuela de Estudios Industriales y Empresariales UIS con elementos de bajo costo.

---

\* Trabajo de grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones (E<sup>3</sup>T), Director MIE(c). Efrén Darío Acevedo Cárdenas, Codirector MS.c. Oscar Mauricio Reyes Torres

## ABSTRACT

**TITLE:** ANALYSIS AND ADAPTATION OF AN ANTENNA PRINTED PERIODIC USED IN SHELVES INTELLIGENT LABORATORY LOGISTICS UIS \*

**AUTHORS:** HECTOR IVAN YAÑEZ GUTIERREZ\*\*

**KEY WORDS:** Microstrip, meander Lines, RFID Technology.

### DESCRIPTION:

In this work the process of adapting the design of a reader antenna of Radio Frequency Identification (RFID) in the Ultra High Frequency band (UHF) for being used in a smart shelves application platform; design based on the electromagnetic coupling between the feeding line, open-ended composition meander and periodic planar metal lines taken from [1]. The analysis and adaptation work looks for to design and integrate an antenna operating at a resonance frequency between 902 and 928 MHz; frequency band allowed for this country. This model of low-cost antenna seeks to fulfill the functions of gathering real-time information and position of the elements within the storage space.

The study and redesign of this RFID antenna is supported on the theoretical analysis of transmission lines that have been validated with simulations in CST STUDIO SUITE 2016 software, supporting the research with graphics results of the main antenna parameters. Finally, the prototype with the purpose of validating the simulated results against measurable parameters is implemented. The product of this work seeks to support the improvement of the laboratory of logistics of the UIS School of Industrial Studies and Business with low cost items.

---

\* Degree Work

\*\* Physical-Mechanical Engineering Faculty. Electrical, Electronics and Telecommunications (E<sup>3</sup>T) Engineering School, Director MIE(c). Efrén Darío Acevedo Cárdenas, Codirector MS.c. Oscar Mauricio Reyes Torres

## INTRODUCCIÓN

La identificación por radiofrecuencia, más conocida por sus siglas en inglés como *RFID*, remonta su uso desde la segunda guerra mundial y desde entonces ha sido una de las tecnologías de identificación de producto más destacadas alrededor del mundo, en la última década a inspirando a empresarios e investigadores a buscar nuevas maneras de intercambiar información ágil a través de la cadena de suministro.

En la actualidad, la principal aplicabilidad de los sistemas *RFID* se encuentra en el campo de logística de la cadena de suministro, porque trae consigo importantes beneficios en la eliminación del error humano, en la captura de datos, reducción de pérdidas de producto, trazabilidad de la mercancía, exactitud y velocidad en el manejo de inventarios, entre otros [2]. La tecnología RFID se ha ido haciendo popular entre las grandes empresas debido a su simple implementación y las diversos servicios a las que se puede adaptar, “Los sistemas de RFID están transformando los procesos logísticos alrededor del mundo” [3].

En Colombia son muy pocas las compañías que han incorporado la tecnología *RFID* a sus procesos, por motivos relacionados a los costos de inversión en los equipos, la falta de capacitación y conocimiento de la misma [4]. A partir de la situación actual, se presenta la necesidad de crear escenarios que permitan mostrar los beneficios de la tecnología RFID, para ello se plantea desde el año 2012 la creación del laboratorio de logística de la Escuela de Estudios Industriales y Empresariales de la UIS.

Cada antena en particular varía según la aplicación, ya que puede hacer comunicación por ondas electromagnéticas (acoplamiento capacitivo o backscattering de campo lejano) o solamente magnéticas (acoplamiento inductivo de campo cercano) como se da en el caso de la tecnología de identificación por radio frecuencia (RFID). Cada tipo de antena debe diseñarse de forma independiente ya que determina en gran medida el éxito de adquisición de la información de los productos.

El marco teórico de este trabajo especifica los parámetros que se deben tener en cuenta para el análisis, comportamiento, fabricación de la antena y un mayor rendimiento según los lineamientos de los organismos de regulación y estandarización para este tipo de tecnologías. Basados en el análisis, las simulaciones son de gran importancia, pues estas son las que permiten predecir el comportamiento del sistema acorde o muy próximo a la realidad, es así como se detectan fallas o defectos en la creación de la antena sin necesidad de hacer gastos innecesarios en pruebas y errores.

Este proyecto presenta la implementación de una antena plana de lectura para el uso en Estanterías Inteligentes. La realización del documento se lleva a cabo de acuerdo a un marco de tiempos previamente organizado, donde se analizó cada proceso con detalle en la entrega final, iniciando con una breve descripción de los sistemas RFID, antenas lectoras con la aplicación en cadenas de suministro, seguido de las principales parámetros de regulación del uso de espectro electromagnético en la banda RFID-UHF, una breve descripción de las características de impedancias de las líneas de transmisión y el efecto que tienen las líneas meandro en la aplicación de nuevas tecnologías para la optimización del tamaño de antenas, así como de las observaciones y resultados obtenidos en su diseño e implementación.

## **1. OBJETIVOS**

### **1.1. Objetivo General**

Adaptar, simular e implementar un modelo de antena para estanterías inteligentes que se ajuste a las condiciones del laboratorio de logística de la UIS.

### **1.2. Objetivos Específicos**

- Adaptar la topología dada en [5] a las dimensiones de las estanterías del laboratorio de logística de las UIS, bajo el estándar RFID-UHF.
- Simular los resultados de la adaptación para establecer condiciones de operación.
- Implementar y validar el diseño de la antena en una aplicación de estantería inteligente ya desarrollado.

## **2. SISTEMAS RFID**

La Identificación por Radiofrecuencia (RFID) es un sistema de almacenamiento de datos remoto que proporciona agilidad en la captura de información, trazabilidad de productos, seguridad en información, entre otras, superando en gran medida al código de barras. El objetivo de un sistema RFID es adquirir la información contenida en la etiqueta electrónica adherida al producto a través de un lector RFID; esta información se procesa de acuerdo con las necesidades particulares de cada compañía. Los datos transmitidos por la etiqueta pueden utilizarse para proporcionar la identificación, información de ubicación, datos sensibles del producto (precio, el color, fecha de compra, caducidad, entre otros).

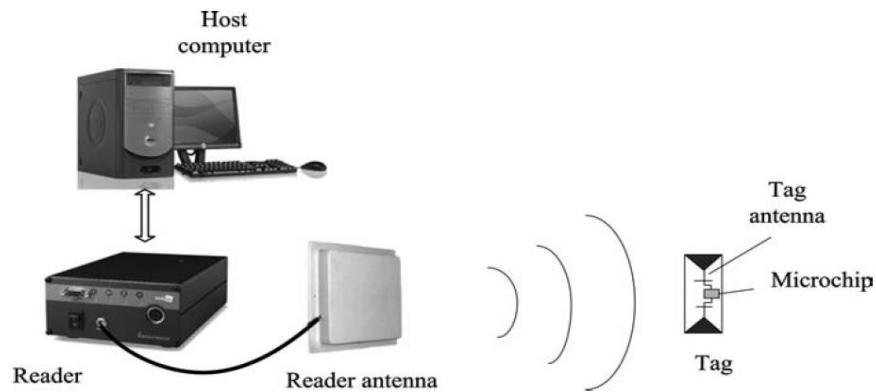
Las tecnologías RFID se agrupan dentro de las denominadas Auto ID (automatic identification, o identificación automática), por lo general las frecuencias disponibles para aplicaciones RFID varía de muy baja (por debajo de 135kHz), hasta microondas (24.125GHz). Para los sistemas RFID, la finalidad es el intercambio de información entre el transpondedor y la antena lectora puesto que los diseños de antena variarán según la banda de frecuencia donde se opere, lo cual define la distancia de lectura desde unos centímetros hasta varios metros.

### **2.1. FUNDAMENTOS DE RFID**

Un sistema RFID típico, como se muestra en la Figura 1, se compone de un interrogador o lector, una antena del lector, una etiqueta (transpondedor), un ordenador anfitrión y un sistema de software. La etiqueta es capaz de almacenar una cantidad significativa de información (hasta varios kilobytes) y se puede fijar a una amplia variedad de artículos para el propósito de identificación y seguimiento.

El lector emite una señal a una frecuencia determinada, cuando una etiqueta RFID pasa dentro del campo electromagnético generado por la antena del lector, se detecta energiza y se intercambia la información entre los dos dispositivos. Este proceso se lleva a cabo por acoplamiento de campo o de captura de onda electromagnética a través de la antena del transpondedor o tag [6].

Figura 1. Configuración típica de un sistema RFID.



Fuente: X. Qing and Z. Chen, "RFID Tag Antennas," *Chapter 7*, 2007. [6].

## 2.2. CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS RFID

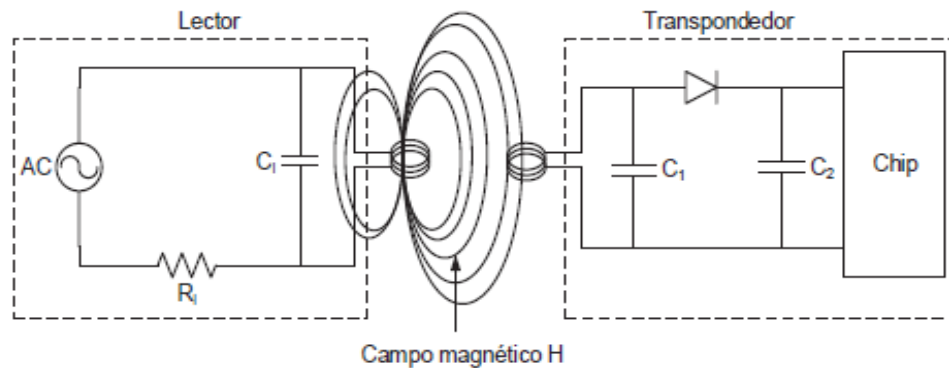
Los sistemas RFID pueden ser categorizados como RFID "de campo cercano" y RFID "campo lejano" en términos del método de transmisión de energía del lector a la etiqueta y los términos de distancia que existen entre la antena lectora y el transpondedor.

**2.2.1. RFID de campo cercano.** En los sistemas de RFID de campo cercano, la transferencia de información entre un lector a una etiqueta, se puede lograr mediante acoplamiento inductivo a través de los campos magnéticos. La principal limitación del sistema RFID de campo cercano es su distancia de lectura limitada; la distancia de lectura de un sistema RFID de campo cercano de diseño convencional es típicamente menos de 1,5 m [7].

Este tipo de acoplamiento se usa tanto para baja frecuencia (LF) como para alta frecuencia (HF). Este sistema de comunicación entre el lector y el transpondedor trabaja en el rango de frecuencia comprendido entre los 135 KHz y los 13,56 MHz. Aunque en algunas aplicaciones pueda trabajar a una frecuencia ligeramente más elevada. Su rango de alcance suele comprenderse alrededor de 1 m. Estos sistemas siempre usan transpondedores pasivos. En estos tipos de acoples, la corriente eléctrica que circula por la antena del lector genera un campo magnético que cuando llega a la antena del transpondedor se induce en esta una corriente que la alimenta y permite la comunicación de la etiqueta con la antena del lector [8]. El

parámetro principal del transpondedor es la inductancia, este modelo se ajusta a las propiedades del material o de procesos específicos (por ejemplo, las pérdidas dieléctricas de polímeros no siempre se conocen con exactitud), pues estos parámetros dependen de la aplicación para la cual se diseña la antena y en muchos casos no tiene mayor afectación en cuanto al rango de lectura.

Figura 2. Esquema del acoplamiento inductivo entre el lector y el transpondedor.



Fuente: B. R. Arias, D. M. Bejarano, C. A. Zafra, F. Recibido, F. Aceptado, I. Electr, and I. Electr, "Sistemas RFID aplicados al control de grandes inventarios RFID systems for the control of large inventories." [8].

**2.2.2. RFID de campo lejano.** En los sistemas RFID de campo lejano, la transferencia de energía del lector a la etiqueta se logra mediante la transmisión y recepción de ondas Electromagnéticas (EM). El lector emite energía a través de una antena, y parte de la energía se ve reflejada en la etiqueta para ser detectada posteriormente por la antena lectora.

Sistemas RFID de campo lejano operan a frecuencias superiores a 100 MHz, típicamente en una banda de ultra alta frecuencia (UHF) como 868MHz, 915MHz y 955MHz o una banda de frecuencias de microondas como 2.4GHz y 5.8GHz. La distancia de lectura de tales sistemas se determina por la intensidad de la energía recibida por la etiqueta y la sensibilidad de la antena del lector a las señales reflejadas desde la etiqueta.

Los lectores se han desarrollado con sensibilidad mejorada de modo que puedan detectar señales débiles con niveles de potencia del orden de -80 dBm a un costo razonable, por otra parte, la energía necesaria para alimentar una etiqueta a una frecuencia dada continúa disminuyendo (en la actualidad algunos micro vatios). Un

lector de campo lejano típica puede interrogar con éxito etiquetas en un rango de 3-5m de distancia; la distancia máxima de lectura de algunos sistemas específicos de RFID de campo lejano puede ser de 10 metros [8].

El acoplamiento capacitivo o backscattering se usa para la comunicación en frecuencias mucho más grandes como lo son UHF y las frecuencias de microondas; el término backscatter es usado para describir que los tags reflejan la señal con la misma frecuencia emitida por el lector, pero cambiando la información contenida en ella. Dependiendo de tipo de alimentación de la etiqueta (pasivas o activas), esta toman la señal del lector como alimentación o no y posteriormente la reflejaran al lector para hacer la comunicación, es decir que a diferencia del acoplamiento inductivo en este tipo de acople no se genera otra onda electromagnética, por el contrario las etiquetas reflejan la señal recibida del lector con la información que poseen [8].

### **2.3. ANTENAS LECTORAS RFID**

Lectores RFID y antenas lectoras trabajan en conjunto para leer las etiquetas incorporadas en cada producto. Las antenas lectoras convierten la corriente eléctrica en ondas electromagnéticas que luego se irradian hacia el espacio en el que puedan ser recibidas por una antena de la etiqueta y transformar de nuevo en corriente eléctrica para su funcionamiento. Al igual que las antenas de la etiqueta, hay una gran variedad de antenas lectoras y la selección de una antena varía de acuerdo con la aplicación o servicio. Los dos tipos de antena RFID se definen en el mercado por el tipo de polarización (lineal y circular) y el campo de radiación. Las antenas que irradian campos eléctricos lineales tienen rangos amplios y concentran la potencia en un solo componente del campo eléctrico permitiendo que las señales penetren a través de diferentes materiales para leer las etiquetas, sin embargo, las antenas lineales son sensibles a la orientación; dependiendo del ángulo de la etiqueta o la posición de esta, las pérdidas de potencia en la comunicación pueden ser tan grandes que las lecturas pueden ser omitidas. Por el contrario las antenas que irradian campos circulares son menos sensibles a la orientación, pero no son capaces de ofrecer tanto rango de lectura como las antenas lineales [9].

La elección de la antena también se determina por la distancia entre el lector RFID y las etiquetas que necesita para leer; esta distancia se denomina rango de lectura. Las antenas de lectura operan ya sea en un "campo cercano" (de corto alcance) o "campo lejano" (de largo alcance). En aplicaciones de campo cercano, el rango de lectura es inferior a 30 cm y la antena utiliza acoplamiento magnético para que el lector y la etiqueta puedan transferir energía. En los sistemas de campo cercano, la

lectura de las etiquetas no se ve afectada por la presencia de dieléctricos tales como el agua y el metal en el campo. En aplicaciones de campo lejano, el rango entre la etiqueta y el lector puede alcanzar hasta diez metros. En el campo lejano las antenas utilizan acoplamiento electromagnético y los dieléctricos debilitan la comunicación entre el lector y las etiquetas.

**2.3.1. Polarización de antenas lectoras.** La polarización de una antena es la polarización de los campos radiados producidos por una antena, evaluados en el campo lejano; por lo tanto, las antenas se clasifican a menudo como "polarización lineal" o "polarización circular". En primer lugar, una antena de polarización horizontal no se comunicará con una antena de polarización vertical, debido al teorema de reciprocidad; las antenas transmiten y reciben exactamente de la misma manera es así como una antena de polarización vertical transmite y recibe campos de polarización vertical; en consecuencia, si una antena de polarización horizontal está tratando de comunicarse con una antena de polarización vertical, no habrá recepción [10].

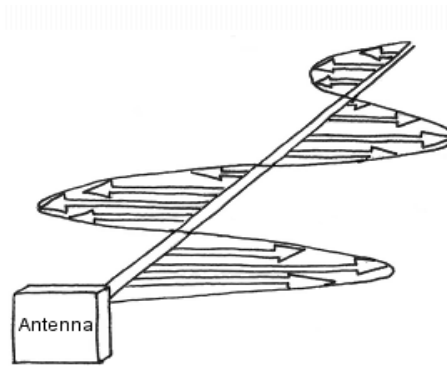
En general, para dos antenas polarizadas linealmente que se rotan entre sí por un ángulo  $\theta$ , la pérdida de potencia debido a esta falta de coincidencia se describirá por el factor de pérdida de polarización, por sus siglas en ingles PLF:

$$PLF = \cos^2\theta \quad (1)$$

Por lo tanto, si las dos antenas tienen la misma polarización, el ángulo entre sus campos radiados  $E$  es cero, no hay pérdida de potencia debido a la desadaptación de polarización. Si una antena es verticalmente polarizada y el otro está polarizado horizontalmente, el ángulo es de 90 grados y no habrá ninguna transferencia de energía.

La polarización lineal se produce cuando las ondas electromagnéticas son transmitidas por un solo plano (vertical u horizontal). Las antenas con polarización lineal deben tener una orientación conocida con la etiqueta RFID y la etiqueta de RFID debe estar fija en el mismo plano que la antena con el fin de obtener una lectura constante. Debido a la emisión concentrada, antenas polarizadas lineales típicamente tienen mayor alcance de lectura de antenas polarizadas circulares de la misma ganancia.

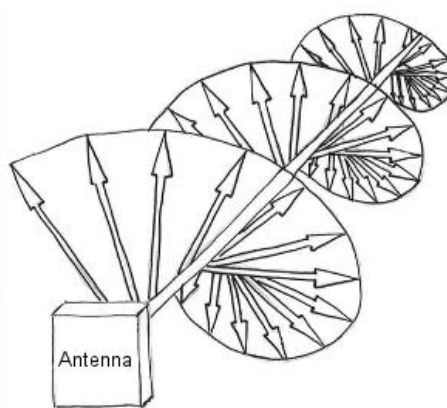
Figura 3. Polarización lineal horizontal.



Fuente: R. A. Parameters and D. The, “ $\times E / H .,$ ” vol. 2014, no. c, pp. 1–18, 2014. [10].

Las antenas de polarización circular, emiten campos electromagnéticos de una manera similar a un sacacorchos; técnicamente hablando, se emiten ondas electromagnéticas en dos planos que hacen una revolución completa en una sola longitud de onda. En comparación con las antenas polarizadas linealmente, las antenas de polarización circular pierden aproximadamente 3 dB por lectura, ya que dividen su energía a través de dos planos separados [10].

Figura 4. Polarización circular (derecha).



Fuente: R. A. Parameters and D. The, “ $\times E / H .,$ ” vol. 2014, no. c, pp. 1–18, 2014 [10].

La polarización circular es en realidad dos ondas polarizadas lineales ortogonal 90 grados fuera de fase. Por lo tanto, una antena de polarización lineal (LP) simplemente recoge el componente en fase de la onda polarizada circularmente

(CP); como resultado, la antena LP tendrá una pérdida de polarización, entonces se hace girar para el desajuste de 0,5 (-3dB), por lo tanto:

$$PLF(\text{linear a circular}) = 0.5 = -3 \text{ dB} \quad (2)$$

El factor de pérdida de polarización se refiere a veces como la eficiencia de polarización, factor de falta de coincidencia de la antena, o el factor de recepción de la antena. Todos estos nombres se refieren al mismo concepto.

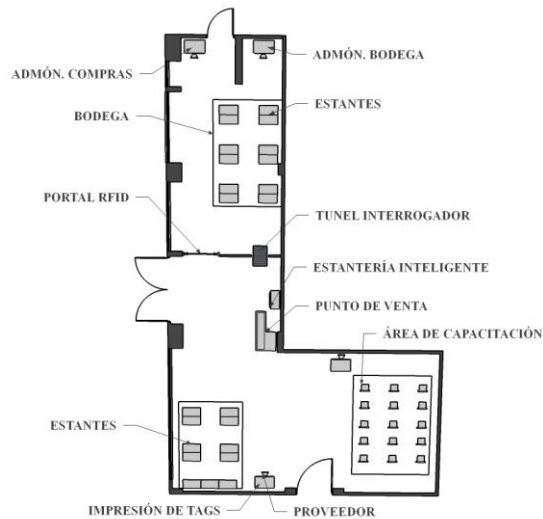
Al decidir qué tipo de antena se debe adquirir para un sistema RFID, el conocimiento de cómo funcionan las antenas, así como la forma de las etiquetas RFID deben ser orientados con respecto a las antenas es clave, pues si las etiquetas necesitan ser leídas en un mismo plano y altura, se debe escoger una antena de polarización lineal; por el contrario si la orientación de la etiqueta no es algo que sea fiable o consistente, entonces es probable que se necesite usar una antena de polarización circular.

#### **2.4. CADENA DE SUMINISTRO**

La cadena de suministro se define como la transferencia de productos e información entre el fabricante y el vendedor minorista; para dinamizar el flujo de la información se ha venido involucrando tecnologías de identificación electrónica de productos como el código de barras y la RFID. Por otra parte, la gestión de operaciones logísticas en cada uno de los agentes de la cadena de suministro se soporta en las mismas tecnologías; haciendo que la tecnología sea una herramienta de valor para las compañías que la involucren.

El laboratorio de logística de la Escuela de Estudios Industriales y Empresariales UIS está enfocado en una cadena de suministro para el análisis, adaptación y puesta en funcionamiento de la tecnología RFID; soportado en la necesidad de crear herramientas de valor para las compañías de la región. Entre los servicios se encuentra: el manejo de inventario en tiempo real, la trazabilidad de cada producto, la organización y la gestión ágil de cada producto.

Figura 5. Plano de distribución del laboratorio de logística de la UIS.



Fuente: Q. A. Edgar and G. M. Hector, "Diseño E Implementación de un Prototipo de Laboratorio en Procesos Logísticos Utilizando Tecnolpgías de Identificación Automatica de Datos," 2013 [11].

Las aplicaciones de las tecnologías RFID se pueden ver en la industria, como es el almacenamiento o salida de mercancía, cantidad y variedad de los artículos o materiales que se agotan, de que marca, cuales no rotan y poder llevar un control socio económico de una empresa o bodega.

**2.4.1. Estanterías inteligentes.** El término de Estantería inteligente basa su nombre a un estante que ha sido equipado con un lector RFID. El lector de RFID puede ser incorporado en el propio estante o instalarse detrás, debajo o por encima de las estanterías o anaqueles normales. Al escanear continuamente los artículos RFID etiquetados en el estante, el lector RFID notifica consistentemente al sistema de fondo acerca de los elementos existentes y su movimiento, también permite determinar los elementos que no pertenecen a una determinada plataforma como "elementos fuera de lugar" gracias al rango de lectura al que se ha diseñado la antena.

Figura 6. Estantería usada en el laboratorio de logística de la UIS.



Fuente: S. R. Jhoimar and P. M. Alex, "Implementación de una Estantería Inteligente Soportada en Tecnología de Identificación por Radiofrecuencia para Aportar Soluciones a la Logística Minorista.," 2015 [12].

Aspectos de valor agregado que se adquieren al usar estanterías inteligentes para una cadena de suministro pueden ser las alertas automáticas, que avisan cuando se están quedando sin uno o varios elementos, por lo que el personal de ventas puede llenar nuevamente la plataforma o hacer un pedido de más artículos, otro componente importante es la alerta del producto fuera del lugar que corresponde, con esta aplicación de estanterías inteligentes, el empleado y empleador sabrá inmediatamente que un artículo no pertenece a la estantería donde está puesto cuando se emite la alerta y es una herramienta fundamental cuando se trata de mercancía que tiene que ser almacenada bajo ciertas condiciones.

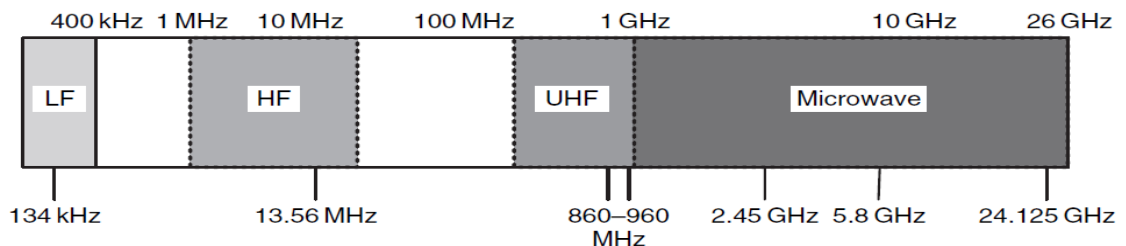
En la serie de aplicaciones que la tecnología RFID puede implementar surge un componente esencial en el uso de estanterías inteligentes como es el caso de saber la última ubicación del producto, pues de esta forma se puede hacer un seguimiento del producto en caso de pérdida o robo y de esta forma hacer que disminuyan las pérdidas en las ganancias. Dentro de la información que cada transpondedor posee se incorpora una característica esencial de gran impacto en la economía de un establecimiento comercial como es la fecha de caducidad de un producto, una alerta sobre esta característica puede hacer que la empresa ya sea mayorista o minorista saque rápidamente el producto al mercado y no genere pérdidas por vencimiento del artículo. De esta manera el minorista puede tener información en tiempo real del producto que más se vende, el que menos rota y de esta manera tomar decisiones en cuanto a posicionamiento dentro del establecimiento, promociones, etc.

## 2.5. FRECUENCIAS, REGLAMENTOS y ESTANDARIZACIÓN

Existen una serie de normas que condicionan el uso de la tecnología RFID para cada país, este aspecto es fundamental en el diseño de antenas o elementos que trabajen con RFID, pues al diseñar una antena lectora RFID que trabaje en la banda UHF para la aplicación en estanterías inteligentes en Colombia, es posible que no funcione correctamente en otros países pues la frecuencia a la que trabaja la antena se ve limitada según el uso de rangos en el espectro que cada entidad otorga en otras partes del mundo, por tal motivo interfiera con otros sistemas de comunicación.

**2.5.1. Frecuencias y Reglamentos.** La necesidad de garantizar que los sistemas de RFID coexisten con sistemas de radio existentes, tales como los sistemas de radiocomunicaciones móviles, marinas y aeronáuticas restringe significativamente el rango de operación de frecuencias disponibles para los sistemas RFID; sólo es posible utilizar los rangos de frecuencia que se han reservado especialmente para el Industrial, Científico y Médico (ISM). La figura 7 muestra el espectro de frecuencias principales disponibles para las aplicaciones RFID [13].

Figura 7. Principales rangos de frecuencia para aplicaciones RFID.



Fuente: X. Qing and Z. Chen, "RFID Tag Antennas," *Chapter*, 2007 [6].

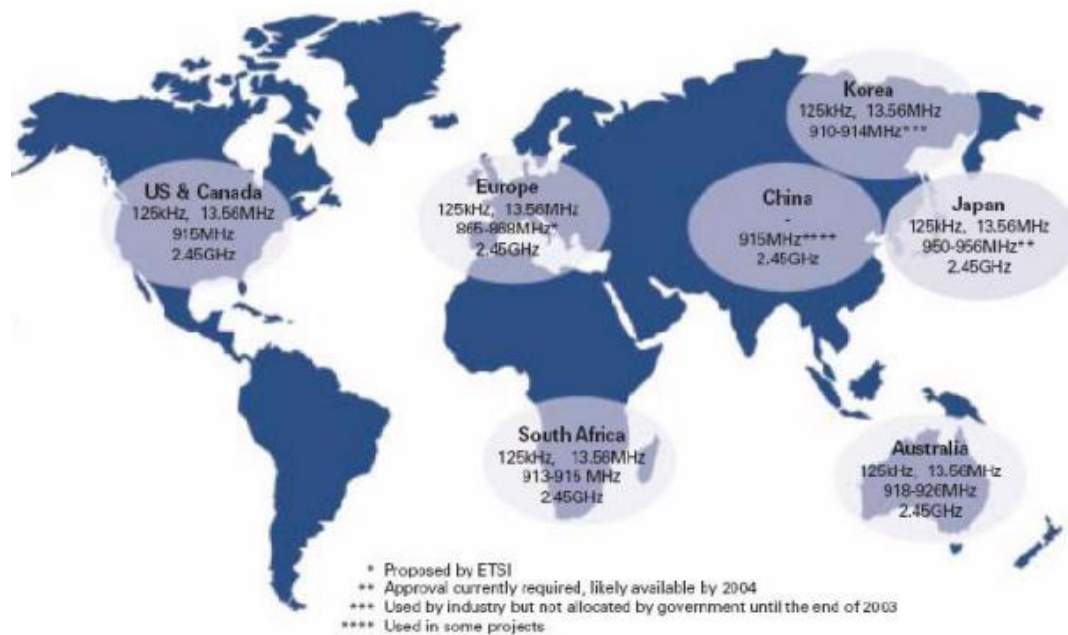
La banda (UHF) de ultra alta frecuencia oscila entre 300 MHz a 1 GHz. Un sistema RFID UHF pasiva típica funciona a 915 MHz en los Estados Unidos y en 868MHz en Europa. Un sistema RFID UHF activa típica opera a 315MHz o 433MHz. Por tanto, un sistema RFID UHF puede utilizar etiquetas activas y pasivas y tiene una alta tasa de transferencia de datos entre el lector y la etiqueta [13].

**2.5.2. Estandarización.** Hay varios organismos de estandarización que intervienen en el desarrollo y la definición de las tecnologías RFID, entre ellas Organización

Internacional de Estandarización (ISO), EPCglobal Inc., el European Telecommunications Standards Institute (ETSI) y la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC). Algunas de las corporaciones que rigen la asignación de frecuencias para RFID son:[14].

- ✓ EEUU: FCC (Federal Communications Commission).
- ✓ Europa: ERO (European Radiocommunications Office), CEPT (European Conference of Postal and Telecommunications Administrations), ETSI (European Telecommunications Standards Institute), y Administraciones Nacionales.
- ✓ Japón: MPHPT (Ministry of Public Management, Home Affairs, Post and Telecommunications).
- ✓ Nueva Zelanda: Ministerio de Desarrollo Económico de Nueva Zelanda (New Zeland Ministry of Economic Development).
- ✓ Colombia: Ministerio de comunicaciones.

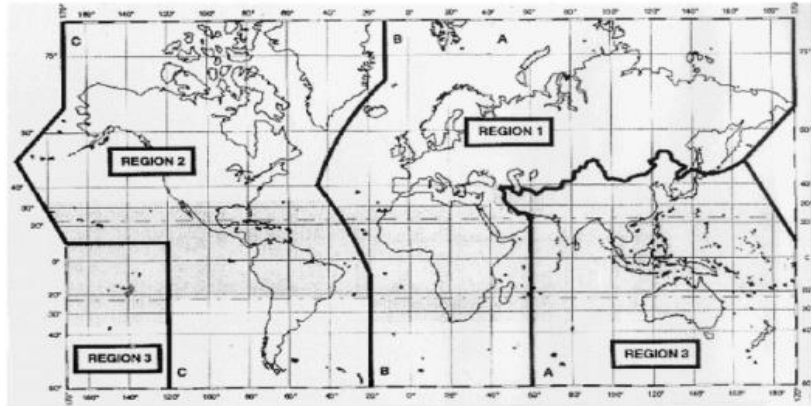
Figura 8. Frecuencias usadas más comunes a nivel mundial.



Fuente: E. Z. Mateos and P. D. E. Investigación, "Instituto politécnico politécnico nacional," 2008 [15].

Sin embargo las regulaciones más comunes se pueden agrupar en tres grandes regiones para el control de emisiones y para prevenir interferencias con otros equipos industriales, científicos y médicos (ISM) [14].

Figura 9. Mapa según regulaciones internacionales.



Fuente: K. Finkenzeller, *RFID Handbook*, vol. 53, no. September 2013. 2013 [13].

Para esta agrupación de regiones se dan ciertos parámetros para la tecnología RFID que funciona bajo las frecuencias UHF y sus principales características son:

- ✓ Región 1: Europa, CEPT
  - Para UHF se aplica ERC REC 70-73
  - Banda UHF asignada 865 - 868 MHz
  - La potencia (PIRE) está limitada a 2W
  - Los lectores tienen que operar con ciclos de trabajo del 10%, sin frequency hopping.
  
- ✓ Región 2: EEUU, FCC (Federal Communications Commission)
  - Para UHF se aplica FCC – Parte 15 (15.249)
  - Banda UHF asignada 902 - 928 MHz
  - Máxima potencia de emisión (PIRE) es de 4W utilizando frequency hopping.
  
- ✓ Región 3: Japón, MPHPT (Ministry of Public Management, Home Affairs, Post and Telecommunication)
  - Regulación: Japanese Radio Law. ARIB (Standards Association of Radio Industries and Business)
  - Banda UHF asignada 950 MHz

**2.5.2.1. ISO/IEC 18000.** El estándar ISO/IEC 18000 se basa en la gestión de la identificación por radiofrecuencia y se divide en varias secciones que dedica su contenido a ciertos parámetros de frecuencia como se muestra:

Part 1. Reference architecture and definition of parameters to be standardized.

Part 2. Parameters for air interface communications below 135 KHz.

Part 3. Parameters for air interface communications at 13.56 MHz

Part 4. Parameters for air interface communications at 2.45 GHz

Part 6. Parameters for air interface communications at 860 MHz to 960 MHz

Part 7. Parameters for active air interface communications at 433 MHz

Para el diseño de antenas lectoras en el rango frecuencias UHF, toda la atención se centrará en la parte 6 donde se detallan los parámetros que han de tener los dispositivos que se comunican con las Tags RFID. También se especifican los canales, frecuencias, ancho de banda y demás aspectos técnicos a tener en cuenta para el buen diseño [16].

**2.5.2.2. EPC.** El EPC (Electronic Product Code) es un sistema de identificación que generalmente se integra a la tecnología RFID. Este código es un sistema de identificación y seguimiento de las mercancías en tiempo real; el número se encuentra almacenado en un circuito integrado, denominado tag, que puede leerse mediante RFID. Puede considerarse como la evolución del código EAN (Europa) o UPC (América) y proporciona datos adicionales al clásico código de barras.

El papel que juega es el de asesorar y homologar las aplicaciones disponibles en la industria, llámese a las empresas líderes en la creación o utilización de esta tecnología. El EPC a su vez es una organización subsidiaria de GS1. El GS1 es una organización mundial que se dedica al desarrollo de estándares, tal como lo ha hecho con el código de barras, el EDI (Intercambio Electrónico de Datos) y otras herramientas de identificación y difusión de sistemas informáticos [17].

Al código EPC será posible asociarle datos dinámicos referentes al ítem que identifica, tales como: fecha de fabricación, lugar de fabricación, fecha de vencimiento, longitud, grosor, etc. Con la utilización del Código Electrónico de Producto se facilita el seguimiento de los productos a lo largo de la cadena de suministro.

## 2.6. MEDIOS DE TRANSMISIÓN

En los sistemas de transmisión de datos, el medio de transmisión es el camino físico entre el transmisor y el receptor. Los medios de transmisión se clasifican en guiados y no guiados; en ambos casos, la comunicación se lleva a cabo con ondas electromagnéticas. En los medios guiados, las ondas se confinan en un medio sólido, por ejemplo, el par trenzado de cobre, el cable de cobre coaxial o la fibra óptica. La atmósfera o el espacio exterior son ejemplos de medios no guiados, que proporcionan un medio de transmisión de las señales, pero sin confinarlas; esto se denomina transmisión inalámbrica.

Las características y calidad de la transmisión están determinadas por el tipo de señal y las características del medio. En el caso de los medios guiados, el medio de transmisión determina las limitaciones de la transmisión, según las características del material. Hay una serie de factores relacionados con el medio de transmisión y con la señal que determinan tanto la distancia como la velocidad de transmisión; de esta manera un medio de transmisión depende del ancho de banda, de las líneas de transmisión y sus características, etc.

**2.6.1. Líneas de transmisión.** Las líneas de transmisión son circuitos, que al trabajar a frecuencias muy altas donde las longitudes de onda son cortas, estas actúan como circuitos resonantes y como componentes reactivos en VHF, UHF y frecuencias de microondas. En toda línea de transmisión se manejan dos características fundamentales:

- Las líneas de transmisión deben introducir la mínima atenuación y distorsión a la señal.
- Las líneas no deben radiar señal alguna como energía radiada.

Todas las líneas de transmisión se diseñan bajo estas dos características. En base a lo anterior, las ecuaciones de tensión y corriente de estado estable en una línea de transmisión se toman las siguientes ecuaciones:

$$V(z) = V^+ e^{-j\beta z} + V^- e^{j\beta z} \quad (3)$$

$$I(z) = \frac{1}{Z_0} (V^+ e^{-j\beta z} - V^- e^{j\beta z}) \quad (4)$$

$V(z)$  y  $I(z)$  son las soluciones de segundo orden ecuaciones diferenciales, se deben determinar dos incógnitas,  $V^+$  y  $V^-$ , que representan las amplitudes de las ondas de tensión de estado estable, viajando en el semiplano positivo y negativo, respectivamente [7].

Por lo tanto, son necesarias dos condiciones de contorno para determinar estas incógnitas, considerando el efecto de la carga y del generador conectado a la línea de transmisión. Antes de considerar las condiciones de contorno, que es muy conveniente para cambiar la referencia del espacio de coordenadas de modo que la referencia cero está en la ubicación de la carga en lugar del generador. Dado que el análisis de la línea de transmisión normalmente se inicia desde la propia carga, esto simplificará considerablemente el problema más tarde.

Figura 10. Diagrama de una línea de transmisión.



Fuente: C. a. Balanis, *Antenna Theory Analysis and Design Third Edition*. 2005 [7].

Se adapta una nueva coordenada  $d = -z$ , con referencia a cero en el lugar de carga. Las nuevas ecuaciones de voltaje y la corriente a lo largo de la línea de transmisión sin pérdidas son:

$$V(d) = V^+ e^{j\beta d} + V^- e^{-j\beta d} \quad (5)$$

$$I(d) = \frac{1}{Z_0} (V^+ e^{j\beta d} - V^- e^{-j\beta d}) \quad (6)$$

En la carga ( $d = 0$ ) se tiene, para ambos casos,

$$V(0) = V^+ + V^- \quad (7)$$

$$I(0) = \frac{1}{Z_0}(V^+ - V^-) \quad (8)$$

Para una impedancia de carga dada  $Z_R$ , la condición límite de carga es

$$V(0) = Z_R I(0) \quad (9)$$

Por lo tanto, se tiene

$$V^+ + V^- = \frac{Z_R}{Z_0}(V^+ - V^-) \quad (10)$$

A partir del cual se obtiene el coeficiente de reflexión de la tensión de carga.

$$\Gamma_R = \frac{V^-}{V^+} = \frac{Z_R - Z_0}{Z_R + Z_0} \quad (11)$$

Al introducir este resultado en las ecuaciones de la línea de transmisión sin pérdidas como:

$$V(d) = V^+ e^{j\beta d} (1 + \Gamma_R e^{-2j\beta d}) \quad (12)$$

$$I(d) = \frac{V^+ e^{j\beta d}}{Z_0} (1 - \Gamma_R e^{-2j\beta d}) \quad (13)$$

En cada ubicación de la línea sin pérdidas se define un coeficiente de reflexión generalizada:

$$\Gamma(d) = \Gamma_R e^{-2j\beta d} \quad (14)$$

Las ecuaciones de la línea sin pérdidas se convierten en:

$$V(d) = V^+ e^{j\beta d} (1 + \Gamma(d)) \quad (15)$$

$$I(d) = \frac{V^+ e^{j\beta d}}{Z_0} (1 - \Gamma(d)) \quad (16)$$

Se define la impedancia de la línea como

$$Z(d) = \frac{V(d)}{I(d)} = Z_0 \frac{1 + \Gamma(d)}{1 - \Gamma(d)} \quad (17)$$

**2.6.2. Impedancia característica.** Cuando se hace uso de una línea de transmisión en un sistema de comunicación, es importante conocer sus características eléctricas y la forma como estas interactúan entre si afectando la señal transmitida. Las características de una línea de transmisión están determinadas por sus propiedades eléctricas y físicas tales como: la conductividad de los alambres, la constante dieléctrica del aislamiento el diámetro del alambre y la distancia entre conductores.

La impedancia de entrada de una línea infinitamente larga en radio frecuencia es resistiva igual a  $Z_0$ . Cuando una onda electromagnética recorre la línea sin reflexiones, se dice que la onda se propagó por una línea no resonante. La relación de voltaje a corriente en cualquier punto de la línea es igual a  $Z_0$ ; en donde el voltaje y la corriente incidentes en cualquier punto de la línea están en fase. Para el caso de una línea, las no resonantes presentan unas pérdidas mínimas por unidad de longitud.

Toda línea de transmisión que finalice en una carga netamente resistiva igual a se comporta como una línea infinita en donde:  $Z_n = Z_0$ , no hay ondas reflejadas, el voltaje y corriente están en fase y se da la máxima transferencia de energía de la fuente a la carga.

La impedancia característica de la línea de baja pérdida es una cantidad real para todos los propósitos prácticos y es aproximadamente la misma que en una línea sin pérdidas correspondiente

$$Z_0 = \sqrt{\frac{R+j\omega L}{G+j\omega C}} \approx \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (18)$$

Y la velocidad de fase asociado a la propagación de la onda es

$$v_p = \frac{\omega}{\beta} \approx \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (19)$$

Pero tenga en cuenta:

En el caso de la línea de baja pérdida, las ecuaciones de tensión y corriente conservan la misma forma obtenida para las líneas con pérdidas generales. Una vez más, se obtiene la línea de transmisión sin pérdidas si suponemos

$$R = 0 \quad G = 0 \quad (20)$$

Esto es a menudo aceptable en líneas de transmisión relativamente cortas, donde la atenuación global es pequeña. Como se mostró anteriormente, la impedancia característica de una línea sin pérdidas es exactamente real,

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (21)$$

Mientras que la constante de propagación no tiene término atenuación

$$\gamma = \sqrt{(j\omega L)(j\omega C)} = j\omega\sqrt{LC} = j\beta \quad (22)$$

La línea sin pérdidas no se disipa la energía, ya que  $\alpha = 0$ .

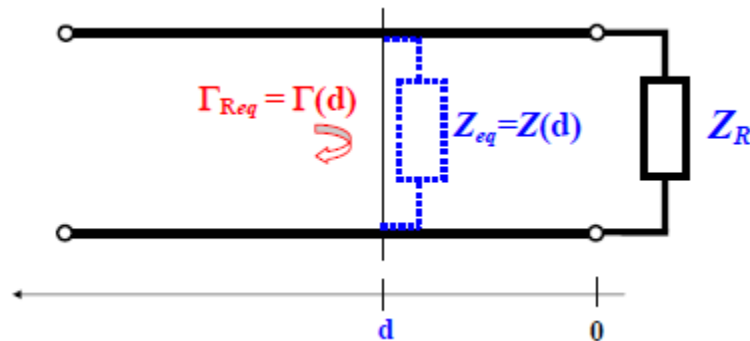
Para todos los casos, la impedancia de línea se define como

$$Z(d) = \frac{V(d)}{I(d)} = Z_0 \frac{1+\Gamma(d)}{1-\Gamma(d)} \quad (23)$$

**2.6.3. Impedancia de entrada.** Para una transferencia de energía eficiente, la impedancia del transmisor, la antena, y el cable de transmisión que las conecta debe ser la misma. Las antenas y sus líneas de transmisión generalmente están diseñadas para una impedancia de 50 Ω. Si la antena tiene una impedancia diferente a 50 Ω, hay una desadaptación, y se necesita un circuito de acoplamiento de impedancia. Cuando alguno de estos componentes no tiene la misma impedancia, la eficiencia de transmisión se ve afectada.

Un diagrama de circuito simple puede ilustrar la importancia de la impedancia de la línea y el coeficiente de reflexión generalizada:

Figura 11. Corte de una línea de transmisión para el análisis de la impedancia de entrada.



Fuente: C. a. Balanis, *Antenna Theory Analysis and Design Third Edition*. 2005 [7].

Suponiendo que se corte la línea en la ubicación  $d$ , la impedancia de entrada de la parte de la línea terminada por la carga es la misma que la impedancia de la línea en ese lugar "antes de la corte". El comportamiento de la línea a la izquierda de la ubicación  $d$  es el mismo si una impedancia equivalente con el valor  $Z(d)$  sustituye a la porción cortada. El coeficiente de reflexión de la nueva carga es igual a  $\Gamma(d)$  [7].

$$\Gamma_{Req} = \Gamma(d) = \frac{Z_{Req} - Z_0}{Z_{Req} + Z_0} \quad (24)$$

Si la longitud total de la línea es L, la impedancia de entrada se obtiene de la fórmula para la impedancia de la línea como

$$Z_{in} = \frac{V_{in}}{I_{in}} = \frac{V(L)}{I(L)} = Z_0 \frac{1+\Gamma(L)}{1-\Gamma(L)} \quad (25)$$

La impedancia de entrada es la impedancia equivalente que representa toda la línea terminada por la carga.

Un caso práctico importante es la línea de transmisión de baja pérdida, en donde los elementos reactivos siguen dominando, pero R y G no se puede descuidar, como en una línea sin pérdidas. Se con las siguientes condiciones:

$$\omega L \gg R \quad \omega C \gg G \quad (26)$$

De modo que

$$\gamma = \sqrt{(j\omega L + R)(j\omega C + G)} \quad (27)$$

$$= \sqrt{j\omega L j\omega C \left(1 + \frac{R}{j\omega L}\right) \left(1 + \frac{G}{j\omega C}\right)} \quad (28)$$

$$\approx j\omega\sqrt{LC} \sqrt{1 + \frac{R}{j\omega L} + \frac{G}{j\omega C} - \frac{RG}{\omega^2 LC}} \quad (29)$$

El último término bajo la raíz cuadrada se puede descuidar, porque es el producto de dos cantidades muy pequeñas. Lo que queda de la raíz cuadrada se puede ampliar en una serie de Taylor truncada

$$\gamma \approx j\omega\sqrt{LC} \left[1 + \frac{1}{2} \left(\frac{R}{j\omega L} + \frac{G}{j\omega C}\right)\right] \quad (30)$$

$$= \frac{1}{2} \left(R\sqrt{\frac{C}{L}} + G\sqrt{\frac{L}{C}}\right) + j\omega\sqrt{LC} \quad (31)$$

De modo que

$$\alpha = \frac{1}{2} \left(R\sqrt{\frac{C}{L}} + G\sqrt{\frac{L}{C}}\right) \quad \beta = \omega\sqrt{LC} \quad (32)$$

### 2.6.3.1. Casos Especiales.

$$\triangleright d = \lambda/2$$

Si la longitud de la línea es exactamente la mitad de la longitud de onda ( $d = \lambda/2$ ) se tiene que:

$$\beta d = \frac{2\pi}{\lambda} \frac{\lambda}{2} = \pi \quad (33)$$

Significa que:

$$\cos \beta d = \cos \pi = -1 \quad y \quad \sin \beta d = \sin \pi = 0 \quad (34)$$

Por lo tanto:

$$Z_{in} = Z_R \quad (35)$$

En otra palabras, si la línea de transmisión es precisamente la mitad de la longitud de onda, la impedancia de entrada es igual a la impedancia de carga independientemente de  $Z_0$  o  $\beta$ .

$$\triangleright d = \lambda/4$$

Si la longitud de la línea es exactamente un cuarto de la longitud de onda ( $d = \lambda/4$ ) se tiene que:

$$\beta d = \frac{2\pi}{\lambda} \frac{\lambda}{4} = \frac{\pi}{2} \quad (36)$$

Significa que:

$$\cos \beta d = \cos \pi/2 = 0 \quad y \quad \sin \beta d = \sin \pi/2 = 1 \quad (37)$$

Por lo tanto:

$$Z_{in} = \frac{(Z_0)^2}{Z_R} \quad (38)$$

En otras palabras, si la línea de transmisión es un cuarto de la longitud de onda, la impedancia de entrada es inversamente proporcional a la impedancia de carga. Decir que la impedancia de carga es un cortocircuito, de tal manera que  $Z_R = 0$ . Por consiguiente, la impedancia de entrada al inicio de la línea de transmisión es:

$$Z_{in} = \frac{(Z_0)^2}{Z_R} = \frac{(Z_0)^2}{0} = \infty \quad (39)$$

Según este resultado se puede decir que, para una línea de transmisión de cuarto de onda, transforma un cortocircuito en circuito abierto y viceversa.

➤  $d \ll \lambda$

Si la longitud de la línea es más pequeña que la longitud de onda de se tiene que:

$$\beta d = \frac{2\pi}{\lambda} d = 2\pi \frac{d}{\lambda} \approx 0 \quad (40)$$

Por lo tanto:

$$\cos \beta d = \cos 0 = 1 \quad y \quad \sin \beta d = \sin 0 = 0 \quad (41)$$

De modo que la impedancia de entrada es:

$$Z_{in} = Z_R \quad (42)$$

En otras palabras, si la longitud de la línea es mucho más pequeña que una longitud de onda, la impedancia de entrada  $Z_{in}$  siempre será igual a la impedancia de carga  $Z_R$ . Hay que tener en cuenta que para el caso en que  $d \ll \lambda$  el voltaje y la corriente en cada extremo son aproximadamente los mismos.

$$\blacktriangleright Z_R = Z_0$$

Si la carga es numéricamente igual a la impedancia característica de la línea, se tiene que la impedancia de entrada es:

$$Z_{in} = Z_0 \quad (43)$$

En otras palabras, si la impedancia de carga es igual a la impedancia característica de la línea, independientemente de la longitud de la misma.

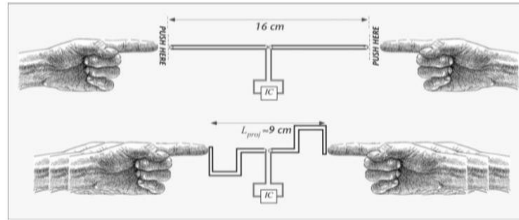
## 2.7. CONFIGURACIÓN MEANDRO CON LÍNEAS MICROSTRIP

Antenas microstrip es una de las técnicas populares usadas hoy en día, la Antena de línea de meandro es un tipo de las muchas antenas microstrip. Sistemas de comunicaciones inalámbricas de diseño moderno se definen en función del tamaño, alta frecuencia de operación y transmisión eficiente. La tecnología de línea de meandro permite el diseño de antenas de pequeño tamaño y ofrece actuaciones de banda ancha, antenas de línea de meandro son una clase interesante de antenas resonantes y han sido ampliamente estudiadas con el fin de reducir de tamaño de los elementos radiantes en antenas de hilo: monopolo, dipolo y las antenas de tipo dipolo plegadas.

En particular, el desafío de disminuir el tamaño de una antena conformada o construida a partir de alambres es de gran relevancia actual, debido a que muchas de las aplicaciones en las bandas de HF, VHF y UHF, requieren una facilidad de portabilidad y mimetización. Como ejemplos de este tipo de tecnologías se encuentran la televisión, el radio, los sistemas de banda ciudadana y algunos sistemas troncalizados como los utilizados por los servicios de radio taxi. Sin embargo, la reducción del tamaño de una antena tiene consecuencias inevitables en el deterioro de la eficiencia de radiación, el cambio de su patrón de radiación y la disminución de su ancho de banda, entre otros.

Si se desea hacer el dipolo más pequeño, se debe doblar las líneas de transmisión (figura 12) y así tendremos una extensión menor en de longitud. Un dipolo que se acorta de esta manera conocido como dipolo doblado o meandro. En cuanto más curvas se añadan podemos hacer el dipolo más corto para la misma frecuencia de operación [18].

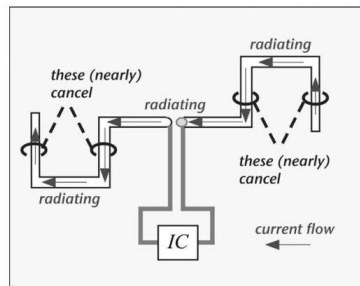
Figura 12. Ejemplo de dipolo doblado o dipolo meandro.



Fuente: D. M. Dobkin, “Tag Antennas,” in *THE RF in RFID: Passive UHF RFID in practice*, 2008 [18].

Al realizar el doblamiento del cable no hay consecuencias en la respuesta en frecuencia. Entre más se doblan los dipolos es menor el tamaño de la antena, es por ello que la resistencia de radiación es una consecuencia de la potencia perdida por las ondas irradiadas; las ondas irradiadas surgen de las corrientes no compensadas esto quiere decir que las corrientes a lo largo del dipolo circulan en una sola dirección. La radiación de toda la corriente a lo largo del dipolo es añadida para crear un vector de potencia en la misma dirección del flujo de corriente. Cuando el dipolo es serpenteado la dirección del flujo de corriente en los brazos perpendiculares al flujo de la corriente es inversa; es así que para una buena aproximación esas corrientes se cancelan y no contribuyen a las ondas electromagnéticas de la antena (figura 13) [18].

Figura 13. Corrientes de polarización del dipolo meandro.



Fuente: D. M. Dobkin, “Tag Antennas,” in *THE RF in RFID: Passive UHF RFID in practice*, 2008 [18].

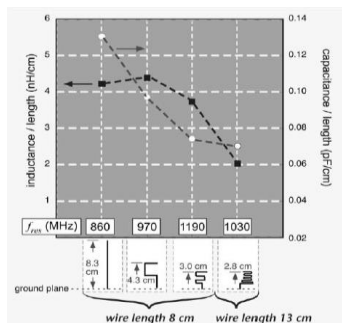
Si la longitud de un dipolo de media onda es  $L_{proj}$ , la resistencia de radiación es aproximadamente:

$$R_{rad,serpenteado} = \left( \frac{L_{proj}}{L_{media\ onda}} \right)^2 R_{media\ onda} = \left( \frac{2L_{proj}}{\lambda} \right)^2 \quad (44)$$

La capacitancia e inductancia en una estructura serpenteada no es la misma que en una estructura recta. La auto-inductancia en un cable resulta del vector magnético de potencia a lo largo de cada parte del cable, y es creado por la corriente que fluye en la misma dirección en otras partes del cable. Cuando el dipolo es doblado no todas las partes del cable son paralelas; la corriente que se encuentra fluyendo en segmentos perpendiculares a alguna posición en particular no contribuye al vector magnético potencia [18].

Así la auto-inductancia en un cable serpenteado se reduce debido a flujos de corrientes ortogonales y opuestas; la capacitancia por longitud de cable también se reduce. Como la frecuencia de resonancia en una antena es inversamente proporcional al producto entre la inductancia y la capacitancia, cuando estas se reducen, la frecuencia de resonancia se incrementa. Un dipolo serpenteado tiene una mayor frecuencia de resonancia que un dipolo con estructura recta para la misma longitud de cable. En conclusión una antena doblada es más hermética, la inductancia y capacitancia caen y que la frecuencia de resonancia se incrementa para una longitud de cable fija según datos experimentales (figura 14) [18].

Figura 14. Análisis del comportamiento de la inductancia, la capacitancia y la frecuencia de resonancia según el tamaño del dipolo meandro.



Fuente: D. M. Dobkin, "Tag Antennas," in *THE RF in RFID: Passive UHF RFID in practice*, 2008 [18].

### 3. DISEÑO Y ESTIMACIÓN DE PARAMETROS DE ANTENAS IMPRESAS

La antena del lector es el componente más sensible de un sistema RFID y puede variar en función de la aplicación, debe ubicarse de tal forma que permita optimizar tanto la transmisión de energía hacia la etiqueta, como la recepción de los datos emitidos por dicha etiqueta.

La antena crea un campo magnético que depende de las características físicas de la misma, la potencia del lector que no debe sobrepasar los 36 dB según la ganancia que tenga la antena; si la antena posee alta ganancia se debe elegir un nivel de potencia bajo, en este caso el patrón de radiación tiende a centrarse en algunos puntos, por ende, no tendrá una buena lectura sobre la estructura de la antena. Para el caso particular de la antena de lectura en estantería inteligente no es recomendable usar antenas con alta ganancia porque se debe irradiar la energía uniformemente sobre el área de almacenamiento.

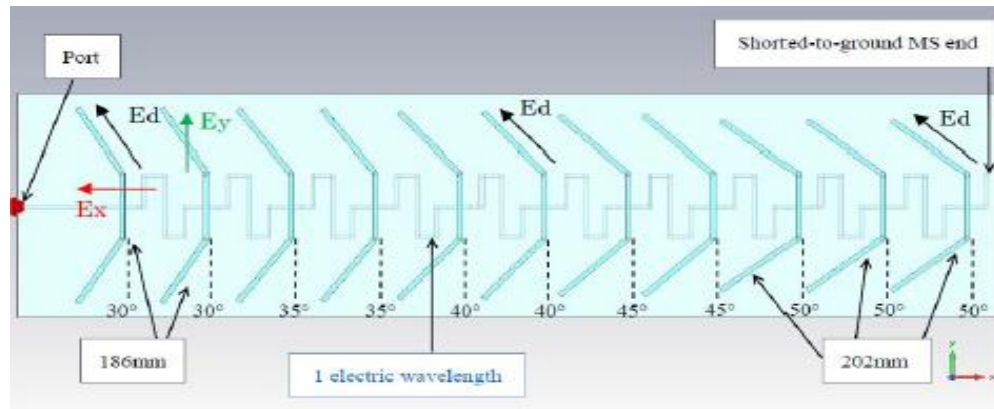
#### 3.1. REDISEÑO DE LA ANTENA

Es de gran importancia antes de hablar de un rediseño conocer los aspectos relevantes que componen y describen el comportamiento de la antena propuesta en el artículo de estudio, pues de allí se evidencian los parámetros sensibles a los cuales se les debe hacer el estudio y posteriormente conocer el comportamiento de estos nuevos parámetros en el diseño final de la antena.

**3.1.1. Parámetros físicos de la antena de referencia.** Basados en la información que brinda el artículo de referencia y en el análisis del diseño de antena, los parámetros físicos que describen el funcionamiento de la antena en estudio se describen a partir de las dimensiones de 20cm x 75cm implementada en un tipo de sustrato FR4 con 1mm de espesor, ancho de las pistas de cobre de 4mm y una impedancia característica de  $50\Omega$ ; parámetro sensible debido a que en la tecnología RFID los equipos de análisis trabajan con esta impedancia. Estas características superficiales no describen el funcionamiento final de la antena estudiada en la figura 15, por lo cual fue necesario hacer una simulación previa de dicha antena para ver el comportamiento en cuanto a los niveles de frecuencia (figura 16) y definir los

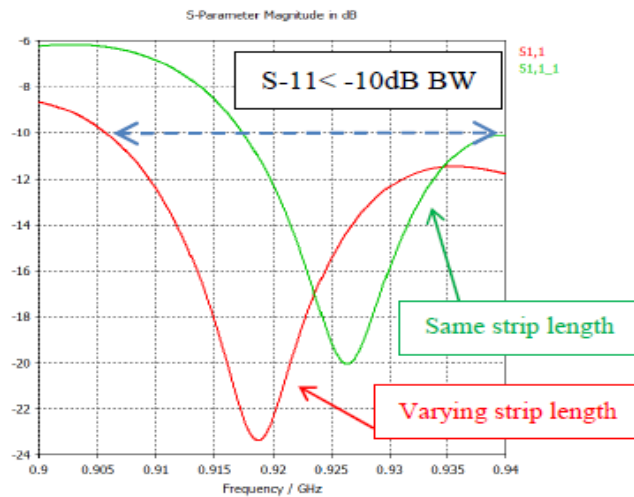
parámetros sensibles para la adaptación de la antena que se desea implementar en el laboratorio de logística de la UIS.

Figura 15. Diagrama del modelo de la antena según el artículo de estudio con dimensiones de 20cm x 75cm.



Fuente: A. S. Andrenko and M. Kai, "Novel design of UHF RFID near-field antenna for smart shelf applications," *Asia-Pacific Microw. Conf. Proceedings, APMC* [5].

Figura 16. Cálculo de parámetro S-11 para las dimensiones de las líneas metálicas estudiadas en el artículo.



Fuente: A. S. Andrenko and M. Kai, "Novel design of UHF RFID near-field antenna for smart shelf applications," *Asia-Pacific Microw. Conf. Proceedings, APMC* [5].

**3.1.2. Adaptación de los parámetros físicos de la antena final.** Una vez simulados todas las características del modelo de referencia se determinan los parámetros físicos sensibles para ver el comportamiento en frecuencia del modelo final de la antena, además, se analizan otros parámetros que el artículo no especifica como el espesor del cobre en el material.

Para hacer una buena adaptación de la antena y reducir el costo de la misma, se hizo un estudio relacionado con el tipo de sustrato utilizado en el artículo de estudio y el más utilizado en implementaciones a nivel comercial, aunque este sustrato en la implementación presenta limitantes. Con esta información, el tamaño definido según las características de los estantes del laboratorio de logística de la UIS se procedió a hacer la adaptación y análisis del comportamiento de la antena en simulación y para la cual se obtuvieron los resultados descritos en la tabla 1.

Tabla 1. Parámetros que modelan el diseño de la antena para la adaptación a las estanterías inteligentes de la UIS.

<b>NOMBRE</b>	<b>VALOR</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
H	1.2 mm	Espesor del sustrato
Hc	5 mm	Ancho del cobre en el sustrato
L	350 mm	Ancho del sustrato
X	900 mm	Largo del sustrato
Zin	50 $\Omega$	Impedancia de entrada

## 4. SIMULACIÓN

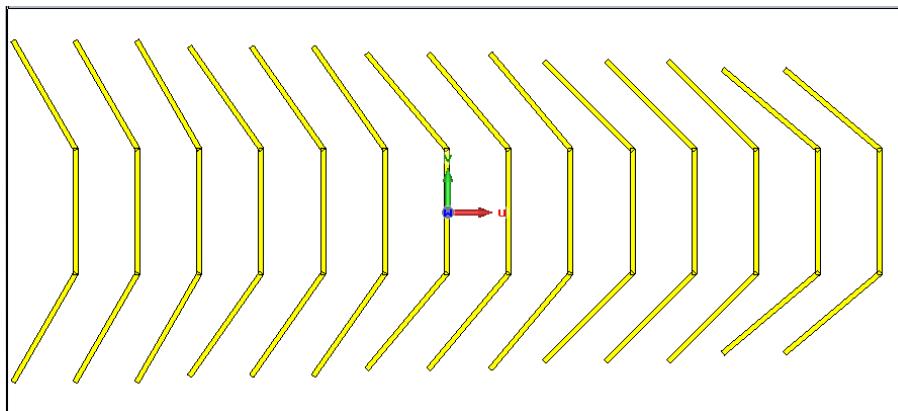
Los parámetros S describen la relación entrada-salida entre puertos o terminales en un sistema eléctrico. Una definición simple de puerto es cualquier lugar en donde se pueda insertar tensión y corriente. En la práctica el parámetro S representa la cantidad de potencia reflejada por la antena hacia el generador, por lo que es conocido como el coeficiente de reflexión o pérdidas de retorno. Si  $S_{11} = 0$  dB, entonces toda la potencia es reflejada por la antena y nada se irradia. Si  $S_{11} = -10$  dB, implica que, si a la antena se le suministra una potencia de 3 dB, -7dB es la potencia reflejada. El resto de potencia es aceptada o suministrada a la antena, la potencia aceptada es irradiada o absorbida como pérdidas dentro de la antena. Idealmente la mayoría de la potencia suministrada a la antena es irradiada.

La relación de tensión de onda estacionaria (VSWR por sus siglas en inglés), es una función del coeficiente de reflexión, que describe la potencia reflejada desde la antena. Si el coeficiente de reflexión está dado por  $\Gamma$ , el VSWR se define por la siguiente fórmula:

$$VSWR = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} \quad (45)$$

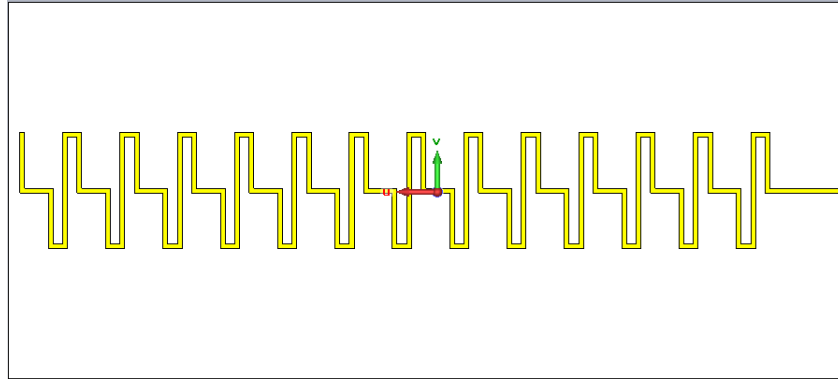
El VSWR es siempre un número real y positivo para las antenas. Cuanto menor sea este coeficiente, la antena se adaptará a la línea de transmisión y mayor será la potencia que reciba. El VSWR mínimo es de 1,0.

Figura 17. Diagrama cara frontal en CST del modelo final de la antena (líneas metálicas).



La figura 17 y 18 muestran el diseño de una antena plana periódica para la implementación en el laboratorio de logística de la UIS la cual trabaja a una frecuencia de 915 MHz con un ancho de banda de 120 MHz y VSWR menor a 1.5.

Figura 18. Diagrama cara posterior en CST del modelo final de la antena (meandro).



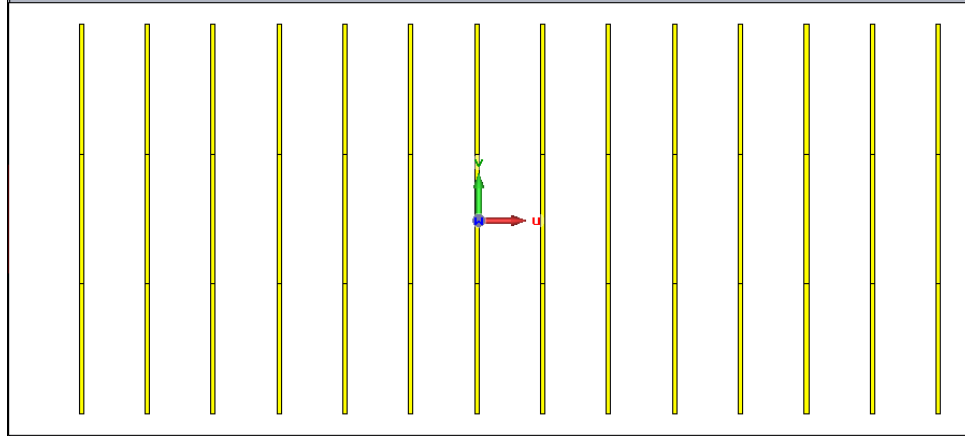
A continuación se presentan simulaciones para diferentes casos del porque las líneas metálicas (dipolos) tienen la inclinación a ciertos ángulos y además de ellos se mencionan parámetros físicos de la antena que de gran importancia en cuanto al funcionamiento de la misma; parámetros físicos que fueron llamados en simulación como  $t_1$  que asemeja el largo de cada una de las secciones de las líneas metálicas y  $t_2$  que corresponde a la separación entre cada sección del meandro y de los dipolos, que en este caso sería la longitud de onda entre una sección de la estructura y la siguiente.

#### 4.1. ANÁLISIS PARA LAS SIMULACIONES CON LAS DIMENSIONES DE INTERÉS.

Para tener una mejor visión del comportamiento de la antena, se propone seguir un estudio del paso a paso de la forma de la antena, de cómo se definen las líneas metálicas, del porque cada línea tiene la longitud que posee y dicha inclinación así de la puesta en práctica de la teoría de la antena meandro y de su separación en cuanto a longitudes de onda.

**4.1.1. Caso 1. Análisis del modelo de antena con las líneas metálicas rectas.**  
Para el análisis de las líneas metálicas rectas se ha definido en CST un modelo de antena el cual se puede ver en la figura 19.

Figura 19. Diagrama de la antena con las líneas metálicas rectas para el análisis en CST.



En las figuras 20 y 21 se describe el comportamiento de la antena dejando las líneas metálicas (dipolos) totalmente rectas, con un parámetro de  $t_2=60$  y variando  $t_1$ , la respuesta en frecuencia de una de las simulaciones se asemeja a los resultados esperados pero su componente de VSWR está por encima de 1.5; rango que sobrepasa el mínimo para el funcionamiento de la tecnología RFID en la banda UHF.

Figura 20. Diagrama del parámetro S-11 en CST para  $t_2=60$ , variando  $t_1$ .

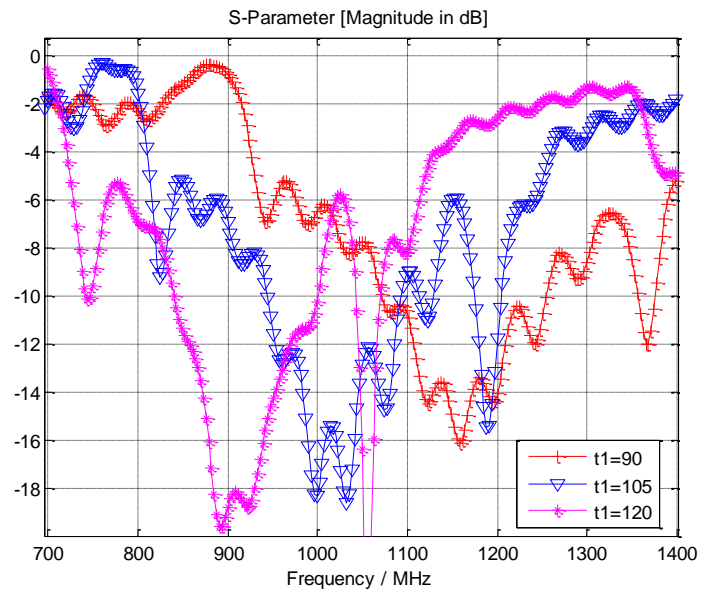
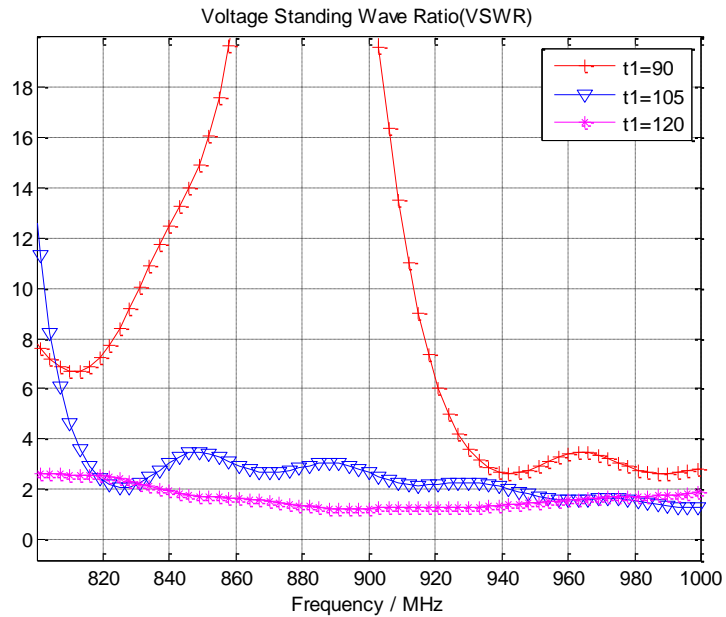


Figura 21. Diagrama del parámetro VSWR en CST para  $t_2=60$  variando  $t_1$ .



**4.1.2. Caso 2. Análisis del modelo de antena con líneas metálicas a 30°.** La figura 22 muestra el modelo de antena con todos los dipolos a una inclinación de 30° para el análisis de los parámetros S-11 y VSWR.

Figura 22. Diagrama de la antena con las líneas metálicas a 30° para el análisis en CST.

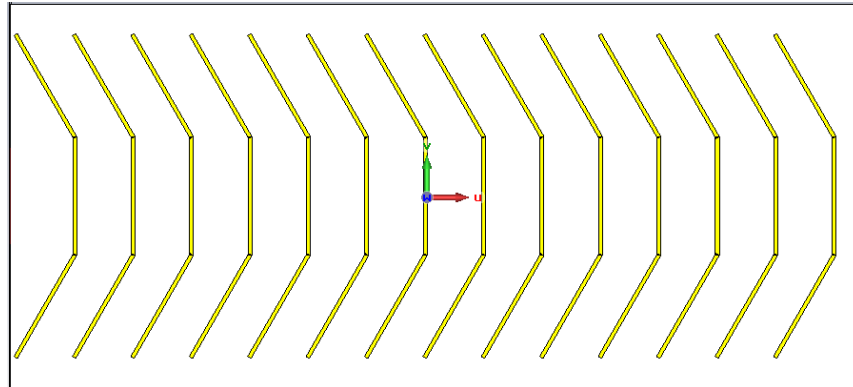


Figura 23. Diagrama del parámetro S-11 en CST para  $t_2=60$ , variando  $t_1$ .

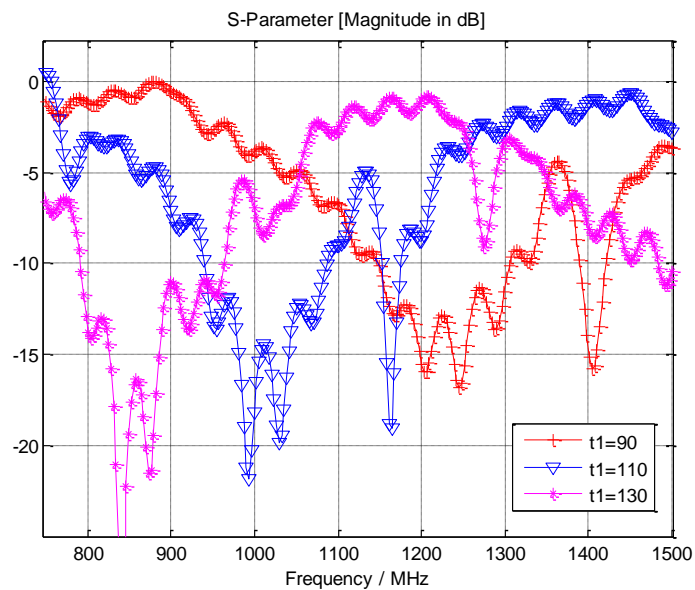
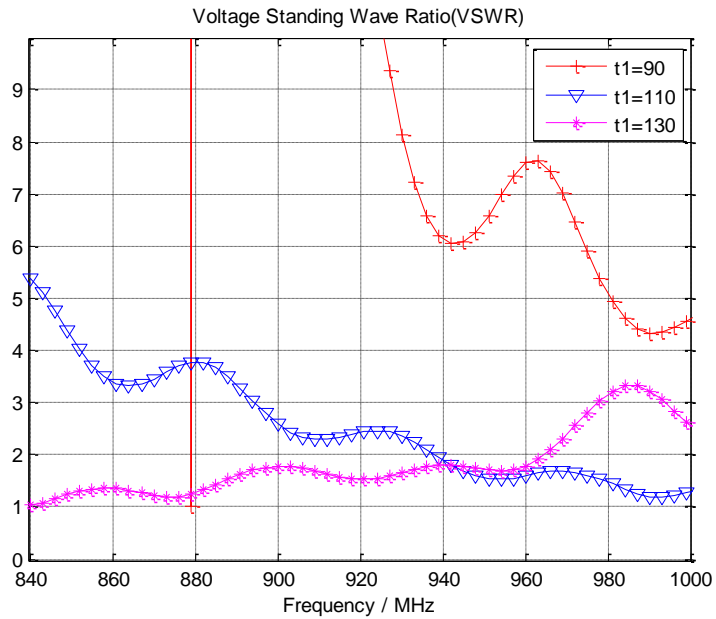


Figura 24. Diagrama del parámetro VSWR en CST para  $t_2=60$  variando  $t_1$ .



La simulación con el arreglo de las líneas metálicas a  $30^\circ$  la respuesta en frecuencia no tiene ningún componente en el rango de análisis de frecuencia que comprende desde 902 – 928 MHz y de los resultados del VSWR el cual para las condiciones de trabajo de la antena RFID UHF debe estar por debajo de 1.5, resultados que se pueden ver claramente en las figuras 23 y 24.

**4.1.3. Caso 3. Análisis del modelo de antena con líneas metálicas a  $45^\circ$ .** En esta sección se analizó toda la estructura de la antena con una inclinación de todas las líneas de cobre a un ángulo de 45 grados para ver el comportamiento en frecuencia de la antena ya definiendo el parámetro  $t_2$  como fijo que hace las veces de la longitud de onda, el modelo de antena con la inclinación de los dipolos se puede observar en la figura 25.

Figura 25. Diagrama de la antena con las líneas metálicas a 45° para el análisis en CST.

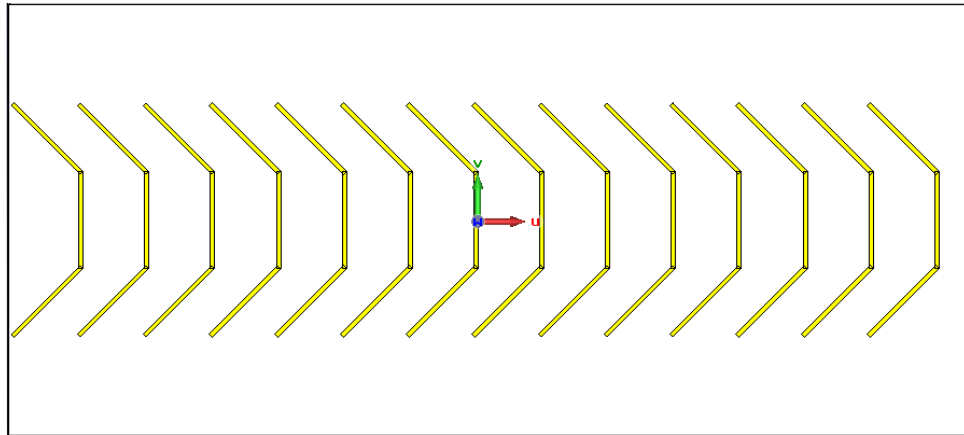


Figura 26. Diagrama del parámetro S-11 en CST para  $t_2=60$ , variando  $t_1$ .

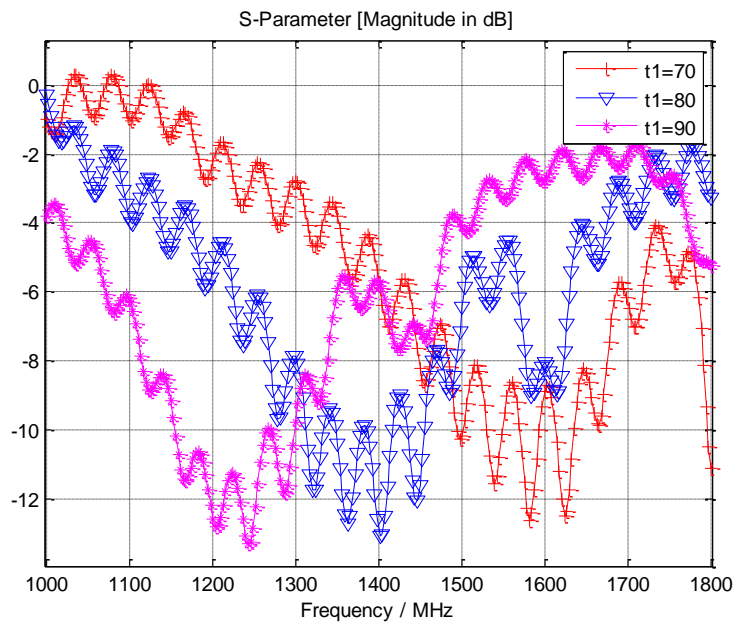
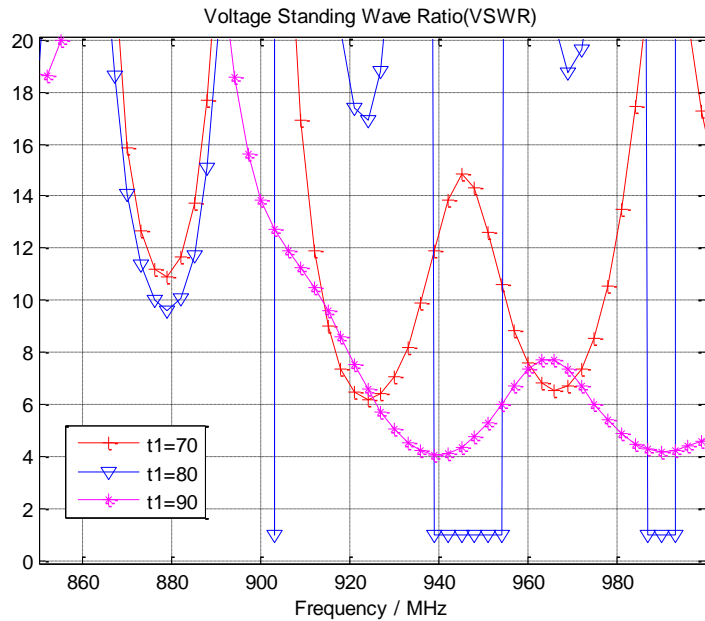


Figura 27. Diagrama del parámetro VSWR en CST para  $t_2=60$  variando  $t_1$ .



En las figuras 26 y 27 se observa que el comportamiento de la respuesta en frecuencia y del VSWR, simulaciones que tienen un comportamiento en la frecuencia no deseada por lo cual no se valida este modelo para ser usado en las estanterías inteligentes para adquisición de datos.

#### 4.1.4. Caso 4. Análisis del modelo de antena con líneas metálicas a $30^\circ$ y $45^\circ$ .

Al colocar la mitad de las líneas de cobre a un ángulo de  $30$  grados y la otra mitad a  $45$  grados, el comportamiento que tiene la antena y el análisis de los parámetros S-11 se acercan más a la frecuencia o a las frecuencias a la que trabaja la antena para este diseño, esto quiere decir el análisis cuasi circular que el autor [5] plantea de los ángulos de las líneas metálicas es efectivo, esto da un buen comportamiento en la respuesta en frecuencia de resonancia, ancho de banda y de un buen VSWR. El modelo de antena para este análisis de parámetros se puede observar en la figura 28.

Figura 28. Diagrama de la antena con las líneas metálicas a 30° y 45° para el análisis en CST.

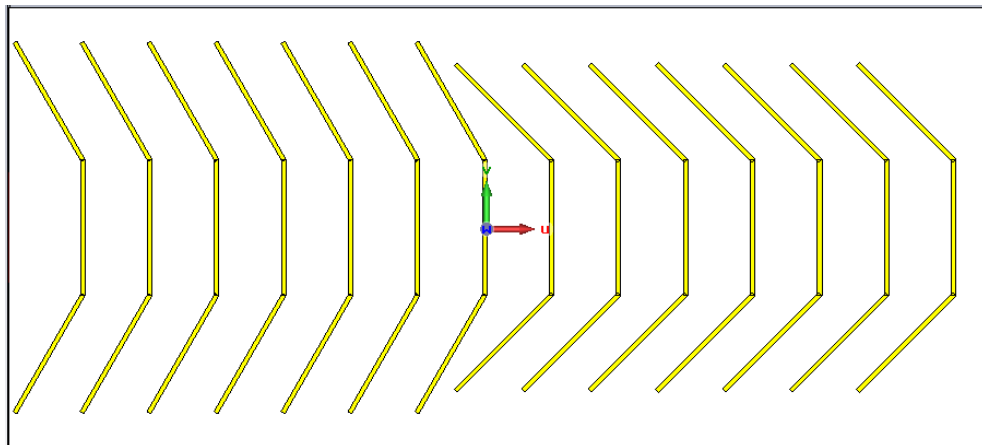


Figura 29. Diagrama del parámetro S-11 en CST para  $t_2=60$ , variando  $t_1$ .

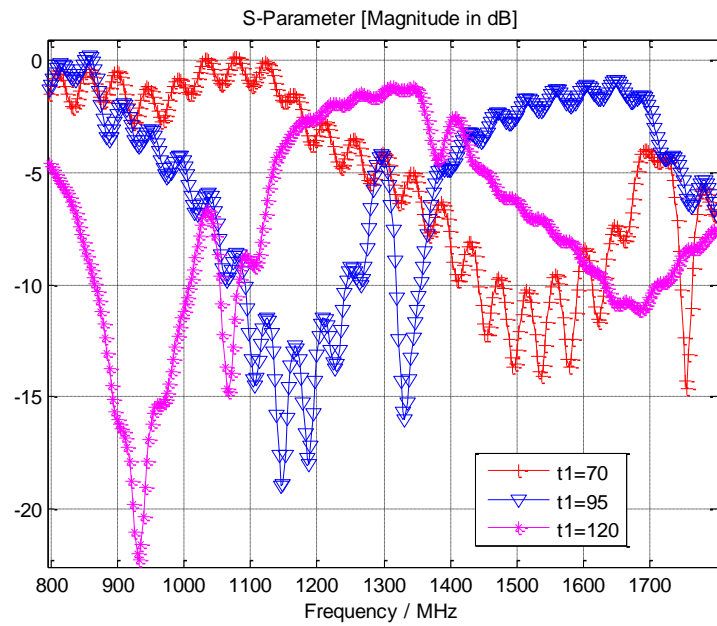
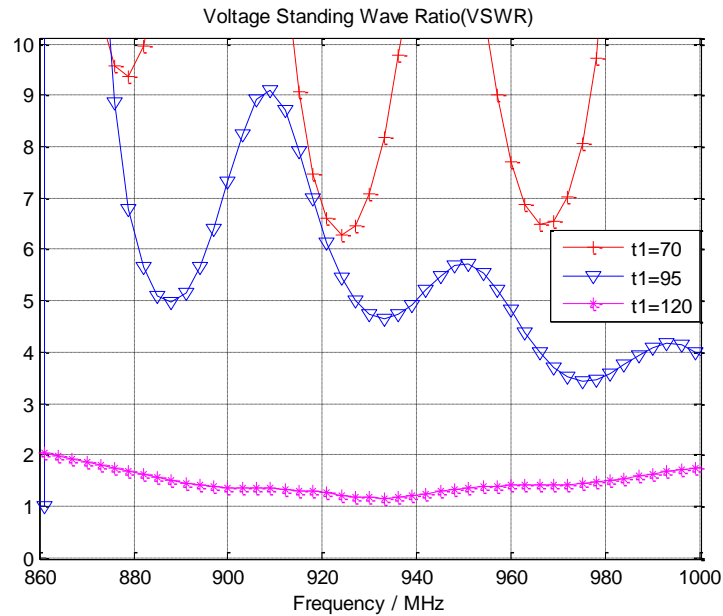


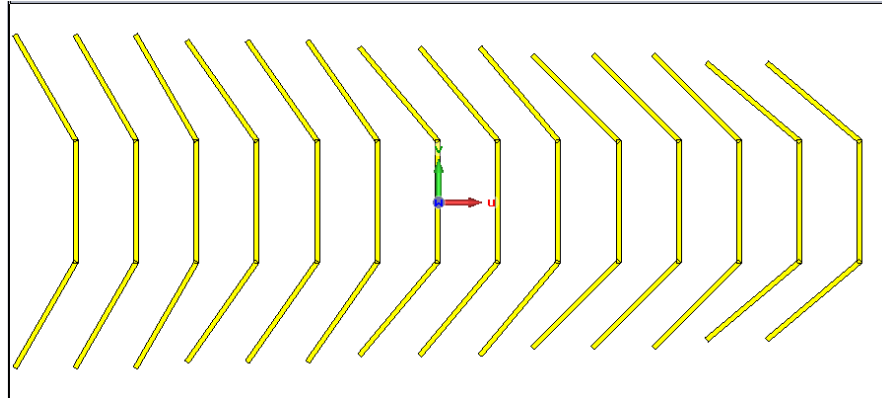
Figura 30. Diagrama del parámetro VSWR en CST para  $t_2=60$ , variando  $t_1$ .



El componente cuasi circular según el análisis planteado en el artículo de estudio para el diseño de la antena lectora RFID en la banda UHF deja ver un patrón en el análisis de las líneas metálicas y sus ángulos de inclinación, cada vez que se añade una componente de inclinación nueva, como se evidencia en las figuras 29 y 30, en el cual se ve la importancia de la longitud de onda en este caso para la simulación el parámetro  $t_2$ , se hace necesario seguir haciendo el análisis de  $t_1$  para una mejor resolución en los resultados esperados y mejorar aún más el parámetro de VSWR.

**4.1.5. Caso 5. Análisis del modelo de antena con líneas metálicas según el modelo de referencia.** Las figuras 31 corresponde a la medición del parámetro S11 para un prototipo de antena de 14 líneas metálicas de cobre y 14 secciones de antena meandro. Las líneas metálicas con las que se realizó la presente simulación, tiene una longitud de 372 mm divididas en tres secciones de 124mm. Se observa que la antena irradia mejor en 920 MHz (figura 32), donde  $S_{11} = -22.75$  dB.

Figura 31. Diagrama en CST del modelo final de la antenna.



Según el modelo de referencia, la inclinación de las líneas metálicas para conservar el efecto del campo electromagnético cuasi circular que debe tener en las simulaciones una frecuencia de trabajo de 915MHz como se observa en la figura 32, cuenta además con un VSWR menor a 1.5 como se espera para el buen funcionamiento de una antena RFID que trabaje en la banda UHF como se observa en la figura 33 además de un ancho de banda amplio para esta antena que es aproximadamente 120 MHz.

Figura 32. Diagrama del parámetro S-11 en CST para la antena RFID en la banda UHF de dimensiones 90cm x 35cm.

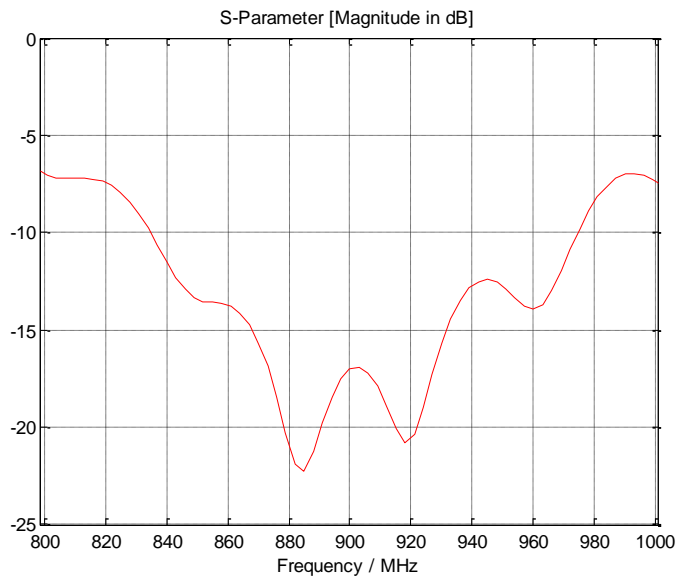
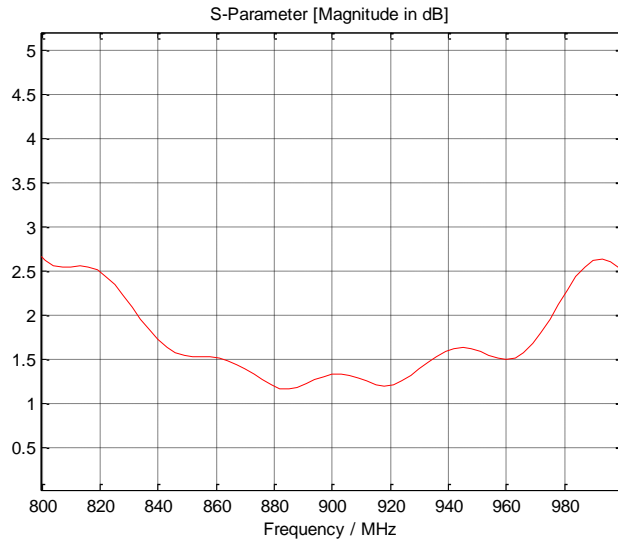
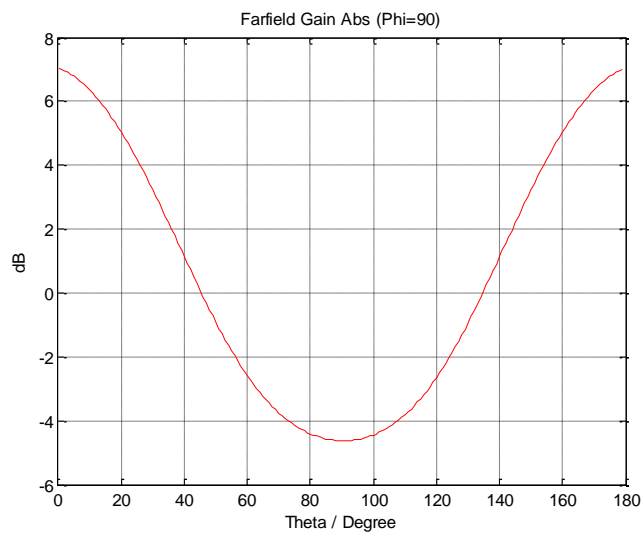


Figura 33. Diagrama del parámetro VSWR en CST para el diseño final de la antena.



El ancho de banda de una antena está definido como el rango de frecuencia donde  $S_{11}$  es menor a  $-10$  dB; observando las figuras 32 el ancho de banda sería alrededor de 120 MHz, con 840 MHz en el extremo inferior y 960 MHz en el extremo superior aproximadamente.

Figura 34. Ganancia de campo lejano.



Según la gráfica de ganancia de campo lejano que se observa en la figura 34, este diseño de antena tiene un alto nivel de ganancia según la estructura física del diseño final, lo cual implica que en el diagrama de radiación se van a tener ciertas partes de la antena que irradian más potencia que otras como se puede ver en la figura 35.

Figura 35. Diagrama de radiación de la antena.

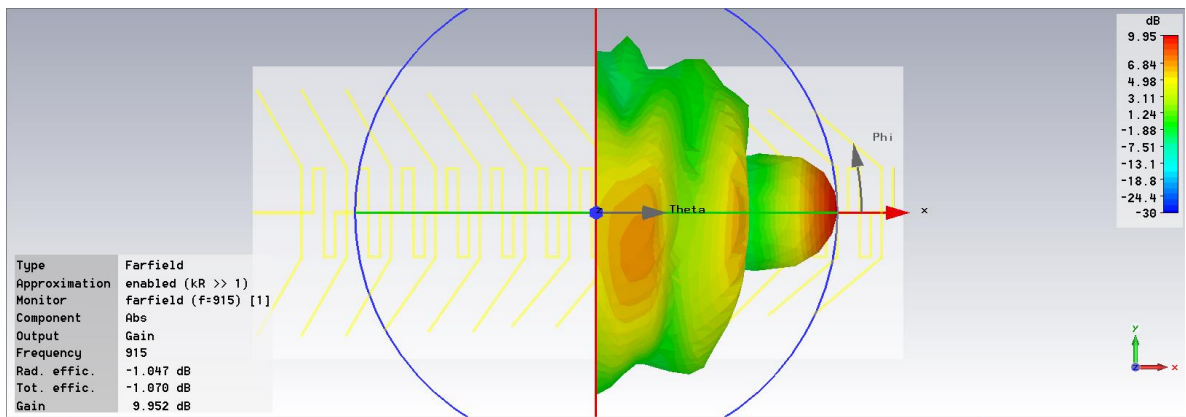
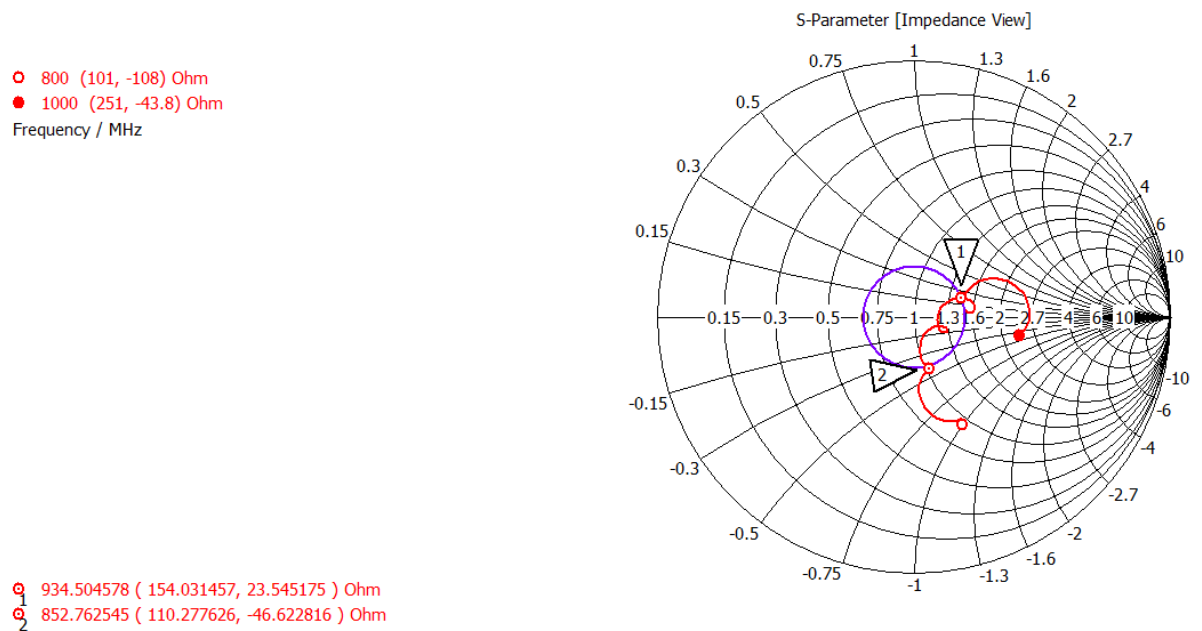
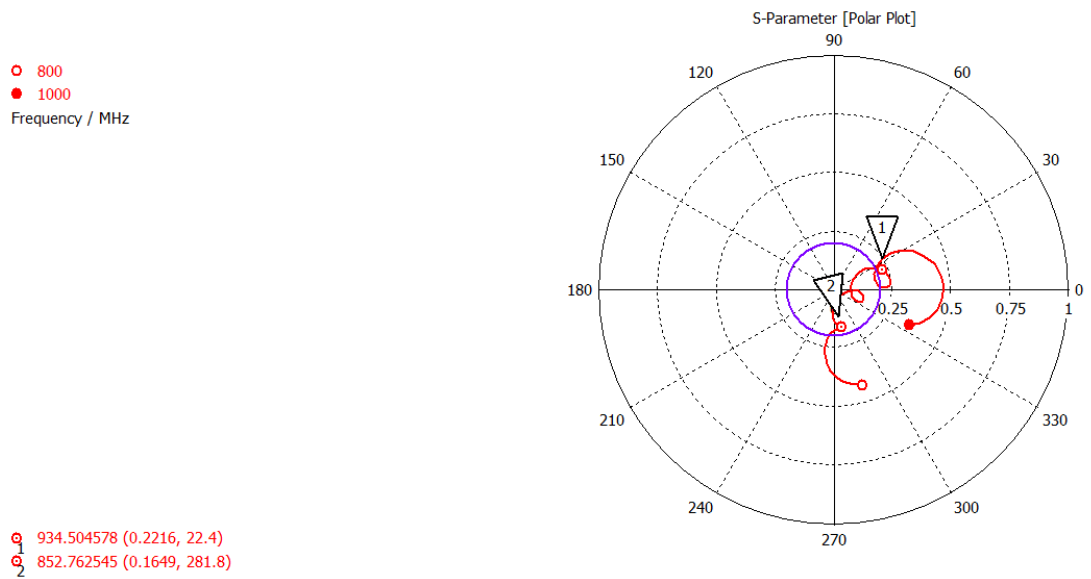


Figura 36. Impedancia de entrada dentro del rango de VSWR.



En la figura 36 se puede ver el comportamiento de la impedancia de entrada dentro de un rango definido de 1.5 que asemeja el funcionamiento de la antena para el mínimo VSWR que limita el uso de antenas RFID en la banda UHF, es así que en la figura 37 se ve el mismo análisis y se evidencia que las frecuencias de trabajo en el rango de 902 – 928 MHz están contenidas dentro de la definición de un VSWR menor a 1.5.

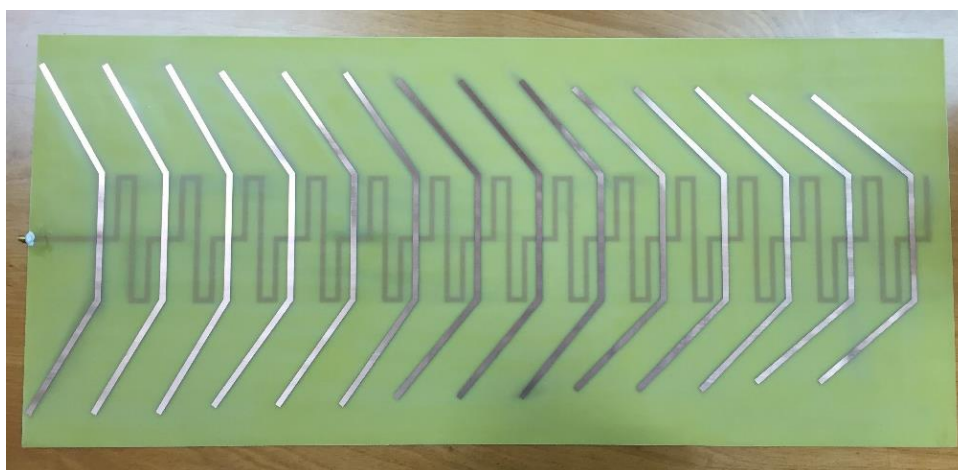
Figura 37. Parámetros S dentro de la región del VSWR.



## 5. IMPLEMENTACIÓN Y RESULTADOS

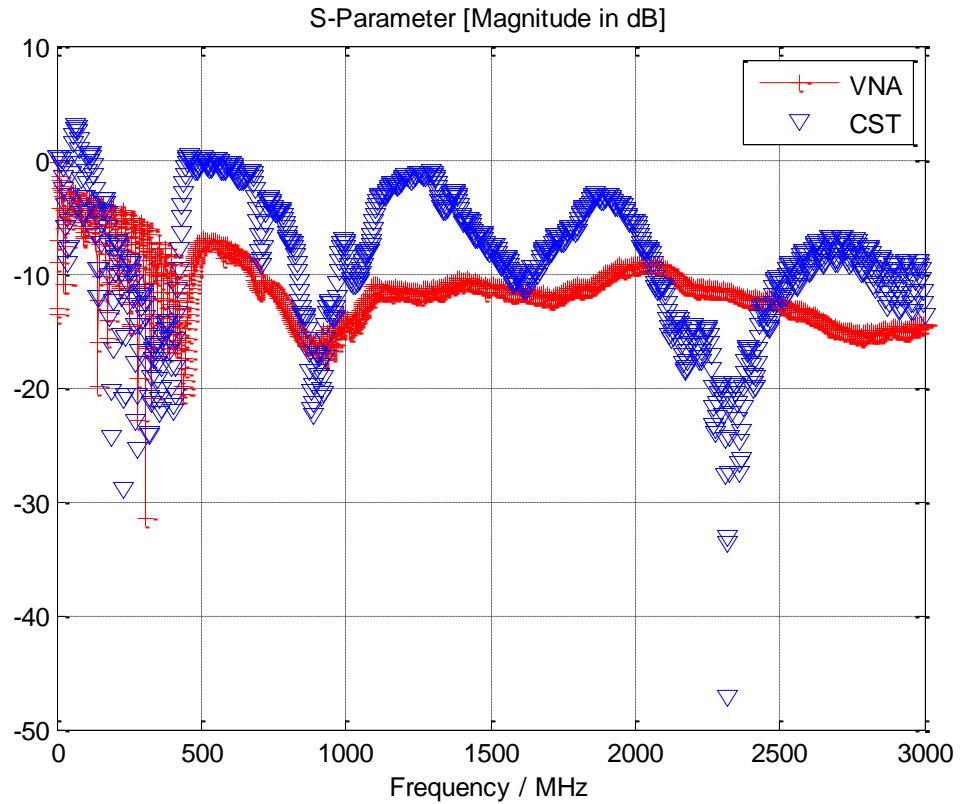
La implementación del diseño de antena adaptado al esquema de los estantes que posee el laboratorio de logística de la Escuela de Estudios Industriales y Empresariales UIS se observa en la figura 38, y es un prototipo de bajo costo que busca obtener los mismos resultados para la ampliación de dicho laboratorio.

Figura 38. Antena impresa periódica RFID 900 mm x 350 mm.



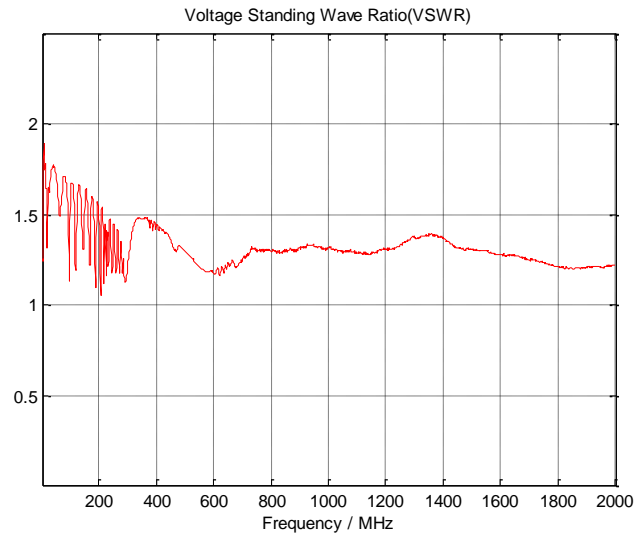
El análisis de los resultados obtenidos en el analizador de redes vectoriales (VNA por sus siglas en inglés), se pueden evidenciar en la figura 39, grafica en la cual se ve que hay un desfase en la señal simulada, pero aun así conserva la curva en la frecuencia de trabajo de la antena para este país que es de 902 – 928 MHz y está por debajo de los -10 dB que es lo que describe un buen comportamiento según los parámetros S.

Figura 39. Parâmetro S-11 Medido vs. Simulado.



Una vez obtenida la gráfica de los resultados del VNA se toma la magnitud de esta señal para graficar el parâmetro VSWR y constatar que está por debajo de 1.5 lo cual es favorable para el correcto funcionamiento de este tipo de antenas y cuyo resultado se puede observar en la figura 40.

Figura 40. Parámetro VSWR obtenido de la medición de S-11 del VNA.



El análisis de los resultados no solo se limita a la lectura del VNA, pues este proyecto de bajo costo es para la implementación en estanterías inteligentes y su funcionamiento en la lectura de artículos de bodega allí puestos. En la figura 41 se puede observar el funcionamiento de la antena con diferentes cajas de productos previamente etiquetadas con tags, los cuales ya poseen una información básica de cada producto.

Figura 41. Antena en funcionamiento.



Los datos obtenidos de la puesta en funcionamiento de la antena se pueden observar en la tabla 2, en los cuales el identificador lee cada una de las cajas en tiempo real, además de esto muestra la potencia promedio que cada tag necesita para ser leída y el número de veces que ha sido leída, es decir que no se hizo invisible ya sea por factores de baja potencia en la lectura.

Tabla 2. Datos obtenidos de la lectura de 9 productos en el laboratorio de logística de la UIS.

<b>IDENTIFICADOR</b>	<b>RSSI</b>	<b>CUENTA DE EPCVALUE</b>
<b>302</b>	56,21223355	1079
<b>307</b>	60,30491329	692
<b>308</b>	61,09125475	526
<b>309</b>	61,68627451	51
<b>314</b>	61,07142857	14
<b>315</b>	59,41887906	1017
<b>316</b>	60,81021898	411
<b>317</b>	58,42734226	1046
<b>321</b>	58,15837563	985
<b>9 PRODUCTOS</b>	<b>58,81154441</b>	<b>5821</b>

## 6. CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES

Las simulaciones muestran una mejor perspectiva del efecto que la antena meandro causa sobre la respuesta en frecuencia, debido a que ésta estructura es uno de los parámetros sensibles que definen el comportamiento final de la antena. Se deben seguir ciertos criterios y conservar la periodicidad de cada una de las partes de la estructura; en este caso cada sección de la antena meandro, así como cada línea dipolo ubicada a un cuarto de longitud de onda.

Teóricamente el efecto de las corrientes perpendiculares en la antena meandro no tiene un efecto significativo en la generación de campos electromagnéticos, según la teoría el único componente de corriente que debe ejercer estos cambios son las secciones que están alineadas en la misma dirección de la alimentación de la antena.

Para mejorar el análisis y según la adaptación que se implementó, fue necesaria la adición de tres secciones de meandro con sus respectivos dipolos para continuar con el análisis de frecuencia que se traía del artículo estudiado, conservado de esta manera los ángulos a los que cada dipolo se somete. Aspectos como estos son los que modelan las características y el comportamiento de la antena como el ancho de banda y diagrama de radiación de la antena.

El análisis en frecuencia no tiene el mismo comportamiento del artículo de estudio, pues en el documento de referencia no se especifican ciertos parámetros físicos que hacen la antena se comporte de esta manera, cabe mencionar que en el estudio de artículos científicos para el uso de nuevas tecnologías, estos documentos no tienen toda la información por el tema de derechos de autor y demás legalidades; razón por la cual un artículo no se lee sino se interpreta para obtener el mismo o un mejor resultado.

El efecto que el ancho de banda que posee la antena es bueno pues este parámetro es el que describe la zona de trabajo de la antena y que para este caso es de 120MHz.

La relación de onda estacionaria (VSWR) para este diseño es bueno pues está por debajo de 1.5; definido por los estándares de la tecnología RFID para aplicaciones en la banda de UHF.

El comportamiento de la señal medida se debe al tamaño de la antena, la cual necesita una potencia alta para su correcto funcionamiento, además de ser plana periódica. Resultado de la implementación, se plantea un análisis de la estructura terminada en corto circuito para que el flujo de la corriente atraviese todo el arreglo.

Según el análisis del diagrama de radiación, para antenas planas periódicas, es de gran importancia dejar un nivel de ganancia bajo para que la radiación sea uniforme sobre toda la estructura de la antena y exista bajo nivel de pérdidas de información.

## CITAS

- [1] A. S. Andrenko, "Optimized Near-Field Antenna for UHF RFID Smart Shelf Applications," pp. 1576–1577, 2015.
- [2] Y. Lee, F. Cheng, and Y. Leung, "Exploring the impact of RFID on supply chain dynamics," *Winter Simul. Conf.*, pp. 1145 – 1152, 2004.
- [3] Philippe-Pierre Dornier, "Supply Chain Management Course," *ESSEC Bus. Sch.*, pp. 1–41, 2015.
- [4] F. L. Fajardo, "Tecnología RFID en Colombia, un negocio con muchas oportunidades," p. 98, 2012.
- [5] A. S. Andrenko and M. Kai, "Novel design of UHF RFID near-field antenna for smart shelf applications," *Asia-Pacific Microw. Conf. Proceedings, APMC*, pp. 242–244, 2013.
- [6] X. Qing and Z. Chen, "RFID Tag Antennas," *Chapter*, 2007.
- [7] C. a. Balanis, *Antenna Theory Analysis and Design Third Edition*. 2005.
- [8] B. R. Arias, D. M. Bejarano, C. A. Zafra, F. Recibido, F. Aceptado, I. Electr, and I. Electr, "Sistemas RFID aplicados al control de grandes inventarios RFID systems for the control of large inventories."
- [9] Impinj, "Lector RFID," 2007. .
- [10] R. A. Parameters and D. The, "ˆ × E / H .," vol. 2014, no. c, pp. 1–18, 2014.
- [11] Q. A. Edgar and G. M. Hector, "Diseño E Implementación de un Prototipo de Laboratorio en Procesos Logísticos Utilizando Tecnolpgías de Identificación Automatica de Datos," 2013.
- [12] S. R. Jhoimar and P. M. Alex, "Implementación de una Estantería Inteligente Soportada en Tecnología de Identificación por Radiofrecuencia para Aportar Soluciones a la Logística Minorista.," 2015.
- [13] K. Finkenzeller, *RFID Handbook*, vol. 53, no. September 2013. 2013.
- [14] A. Craig, "Regulatory status for using RFID in the EPC Gen 2 band ( 860 to 960 MHz ) of the UHF spectrum," *Gs1*, vol. 928, no. May, pp. 1–22, 2014.
- [15] E. Z. Mateos and P. D. E. Investigacion, "Instituto politécnico polít cnico nacional," 2008.
- [16] M. General, "INTERNATIONAL STANDARD ISO / IEC Information technology — Radio frequency identification for item," vol. 2013, no. 122382, 2014.
- [17] E. P. Code, R. Identification, and P. Mu, "Informática Informática," vol. 4, 2008.
- [18] D. M. Dobkin, "Tag Antennas," in *THE RF in RFID: Passive UHF RFID in practice*, 2008, pp. 305–359.

## BIBLIOGRAFÍA

ANDRENKO, Andrey S. Novel design of UHF RFID near-field antenna for smart shelf applications. IEEE Xplore [en línea] AP-S 2015. [Consultado 4 de enero 2016] Disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=6695107> Acceso a usuarios UIS.

ANDRENKO, Andrey S. Optimized Near-Field Antenna for UHF RFID Smart Shelf Applications. IEEE Xplore [en línea] AP-S 2015. [Consultado 4 de enero 2016] Disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=7305177> Acceso a usuarios UIS.

BALANIS, Constantine A. *Antenna Theory Analysis and Design*. 3 Edition. New Jersey. Copyright 2005 by John Wiley & Sons, Inc. 611p,811p

FAJARDO, Federico León. Tecnología RFID en Colombia, un negocio con muchas oportunidades. Trabajo de grado [en línea]. [Consultado 13 de febrero 2016] Disponible en: <http://repository.urosario.edu.co/bitstream/handle/10336/4590/1010196197-2013.pdf?sequence=1> Acceso a usuarios UIS.

H. L. D. W. E. R. E. Jae Sung Choi. Passive UHF RFID - Based Localization Using Detection of Tag Interference on Smart Shelf. En: Transactions on Systems, Man and Cybernetics, vol. 42, nº 12537542, pp. 268 - 275, 2 Mar 2012.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARIZATION. Regulación para las nuevas tecnologías RFID en Colombia. ISO/IEC 18000. 2012.

KARMAKAR, Nemai Chandra. Handbook of Smart Antennas for RFID Systems. 3 Edition. A John Wiley & Sons, Inc., Publication 2010.

MENDOZA, Hector Adanies. ACEVEDO, Edgar. Diseño E Implementación de un Prototipo de Laboratorio en Procesos Logísticos Utilizando Tecnolpgías de Identificación Automatica de Datos. Bucaramanga, 2013, 24p. Trabajo de investigación para optar por el título de Ingenieros Electrónicos. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas.

PARRA, Alex F. SALAMANCA, Eduardo. Implementación de una Estantería Inteligente Soportada en Tecnología de Identificación por Radiofrecuencia para

Aportar Soluciones a la Logística Minorista. Bucaramanga, 2015, 117p. Trabajo de investigación para optar por el título de Ingenieros Electrónicos. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas.

RAMÍREZ, Elkin D. Sistemas RFID aplicados al control de grandes inventarios. Artículo [en línea]. [Consultado 20 de marzo 2016] Disponible en: <https://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwiZiPTX67TOAhVMLMAKH9mDgkQFgg-MAA&url=http%3A%2F%2Fcsifesvr.uan.edu.co%2Findex.php%2Fingeuan%2Farticle%2Fdownload%2F286%2Fpdf&usq=AFQjCNGbcmZhY2oMBcis4xfclInquvGldQ&cad=rja> Acceso a usuarios UIS.

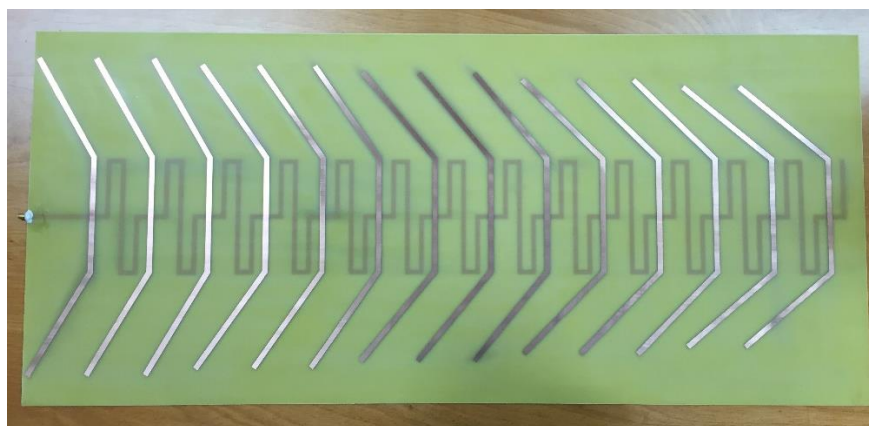
YOUNG M. Lee. Exploring The Impact of RFID On Supply Chain Dynamics. IBM T.J. Watson Research Center [en línea] Proceedings of the 2004 Winter Simulation Conference. [Consultado 10 de marzo 2016] Disponible en: <http://informs-sim.org/wsc04papers/147.pdf> Acceso a usuarios UIS.

## ANEXO

### ANTENA PARA ESTANTERÍAS INTELIGENTE DE POLARIZACIÓN LINEAL EN LA BANDA UHF

Antena para la implementación de RFID en la banda UHF, para lectura de productos. Con tan sólo 1.2 mm de espesor, esta antena de alto rendimiento está diseñada específicamente para sistemas de estanterías inteligentes, proporcionando la gestión de activos y de productos de identificación / inventario en tiempo real.

Figura 42. Antena impresa periódica RFID 900 mm x 350 mm.



#### Especificaciones.

Tabla 3. Especificaciones físicas.

Dimensiones (LxWxD):	900 mm x 350 mm x 1.2 mm
Peso:	1.3 kg
Material:	FR4
Tipo de conector / posición:	RP-SMA

Tabla 4. Especificaciones eléctricas.

Rango de frecuencias:	902 – 928 MHz
Polarización:	Linear
Far-field Gain:	7.25 dB
VSWR típico a través del rango de frecuencia:	< 1.35
Impedancia nominal:	50 $\Omega$
Potencia máxima de entrada:	5 W

### **Aplicaciones:**

- Cualquier aplicación Estanterías / Gabinete
- Lectura en tiempo real / identificación del producto
- Gestión de la cadena de suministro

Los datos técnicos contenidos en este documento no es una garantía para el cual el autor asume responsabilidad legal. Es indicativo de rendimiento típico, y si es necesario debe ser verificado para aplicaciones específicas.

Todos los datos técnicos, especificaciones y otra información contenida en este documento se consideran la propiedad intelectual del autor. Queda prohibida la reproducción, copia o uso de los mismos, puede ser realizada o reproducida sin el consentimiento expreso o por escrito del autor.