

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE LABORATORIO EN
PROCESOS LOGÍSTICOS UTILIZANDO TECNOLOGÍAS DE IDENTIFICACIÓN
AUTOMÁTICA DE DATOS

HÉCTOR ADANIES GIL MENDOZA
EDGAR ANDRÉS QUINTANA ACEVEDO

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

2013

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE LABORATORIO EN
PROCESOS LOGÍSTICOS UTILIZANDO TECNOLOGÍAS DE IDENTIFICACIÓN
AUTOMÁTICA DE DATOS

HÉCTOR ADANIES GIL MENDOZA
EDGAR ANDRÉS QUINTANA ACEVEDO

Trabajo de Grado para optar al título de
Ingeniero Electrónico

Director

Msc. Jorge Hernando Ramón Suarez

Codirector

Mie(C) Éfren Darío Acevedo Cárdenas

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

2013

*Nunca consideres el estudio como una obligación, si no como una oportunidad
para entrar en el bello y maravilloso mundo del saber*

-Albert Einstein-

Dedico este trabajo especialmente a mi madre, que siempre me ha apoyado a lo largo de mi vida y ha luchado por sacarme adelante para cumplir con mis metas.

Agradezco a Dios y a todas las personas que estuvieron presentes en mi proceso de formación y fueron una pieza fundamental para crecer como persona, amigo y compañero.

Edgar Andrés

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	15
1. FUNDAMENTOS DE LA TECNOLOGÍA <i>RFID</i>	15
2. ESTADO DEL ARTE	16
3. PROPUESTA	17
4. CONCLUSIONES	22
REFERENCIAS	23

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. PORTAL LECTOR <i>RFID</i>	18
FIGURA 2. ESTANTERÍA INTELIGENTE <i>RFID</i>	18
FIGURA 3. PLANO DE DISTRIBUCIÓN DEL LABORATORIO.	19
FIGURA 4. EJEMPLO DEL RESULTADO DEL ALGORITMO DE MATLAB™.....	19
FIGURA 5. TAGS ADQUIRIDOS PARA LAS PRUEBAS.....	20
FIGURA 7. DISTRIBUCIÓN Y ETIQUETADO EN LAS PRUEBAS CON ZAPATOS.	20
FIGURA 8. DISTRIBUCIÓN Y ETIQUETADO DE LAS BOTELLAS DE AGUA.	20
FIGURA 9. RESPUESTA ANTENA LECTORA <i>RFID</i>	22
FIGURA 10. FORMA EFECTIVA DE ETIQUETAR PRODUCTOS PALETIZADOS.	22
FIGURA 11. SECUENCIA DE LAS GUÍAS DE LABORATORIO.	22

LISTA DE TABLAS

TABLA 1. COMPARACIÓN ENTRE RFID Y EL CÓDIGO DE BARRAS EN LA CADENA DE SUMINISTRO	16
TABLA 2. DIVISIÓN ÁREA DEL LABORATORIO	18
TABLA 3. PÉRDIDAS EN LOS CABLES	21

RESUMEN

TITULO:

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE LABORATORIO EN PROCESOS LOGÍSTICOS UTILIZANDO TECNOLOGÍAS DE IDENTIFICACIÓN AUTOMÁTICA DE DATOS. *

AUTOR:

HÉCTOR ADANIES GIL MENDOZA, EDGAR ANDRÉS QUINTANA ACEVEDO **

PALABRAS CLAVES:

IDENTIFICACIÓN POR RADIOFRECUENCIA, TAG, RSSI, CADENA DE SUMINISTRO, PROCESOS LOGISTICOS.

DESCRIPCION:

Dentro de la cadena de suministro se ejecutan continuamente procesos logísticos que aseguran el flujo continuo de los bienes o productos para lograr la satisfacción de diferentes consumidores. En las últimas décadas, se ha visto un gran interés por parte de las empresas del sector industrial hacia la aplicación de la tecnología de identificación por radio-frecuencia (*RFID*), puesto que brinda numerosas ventajas a los procesos logísticos. Sin embargo, el elevado costo que esta tecnología implica y la falta de personal capacitado dificultan la inmediata adopción de *RFID* en las empresas. Este trabajo está enfocado a destacar el proceso realizado en el diseño e implementación de un laboratorio de procesos logísticos en la Universidad Industrial de Santander basado en la tecnología *RFID* y planeado de acuerdo a la necesidad de estudiar las características y beneficios de la tecnología en la cadena de suministro. Para tal propósito, se llevó a cabo una investigación exhaustiva de la estructura fundamental de la tecnología *RFID* aplicada en el sector industrial y se validó a través de experimentos y pruebas que representan entornos reales. Con base en lo anterior, se presentan las investigaciones, experimentos, pruebas y resultados obtenidos que conllevan al diseño e implementación del laboratorio.

*Proyecto de grado

**-Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones. Director Jorge Hernando Ramón. Codirector Éfren Darío Acevedo.

ABSTRACT

TITLE:

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A LABORATORY PROTOTYPE IN LOGISTICS PROCESSES USING AUTOMATIC IDENTIFICATION DATA TECHNOLOGY.*

AUTHOR:

HÉCTOR ADANIES GIL MENDOZA, EDGAR ANDRÉS QUINTANA ACEVEDO **

KEY WORDS:

RADIOFREQUENCY IDENTIFICATION, TAG, RSSI, SUPPLY CHAIN, LOGISTIC PROCESSES.

DESCRIPTION

Within the supply chain are executed and carried out different logistic processes which make it possible to ensure and consolidate the continuous flow of goods or products with the purpose of achieve customer satisfaction. In recent decades, there has been a great interest from industrial companies towards implementing automatic identification data technology, as radio frequency identification (RFID), in their processes and supply chains as it provides numerous advantages to logistic processes. However, the high cost, the lack of trained personnel and the absence of a place to test the advantages and disadvantages of the technology hinder the immediate adoption of RFID in the companies. This work is focused on highlight the activities and processes involved in the design and implementation of a logistics processes laboratory in the Universidad Industrial de Santander based on the radio frequency identification technology (RFID) and planned according to the need to explore the features and benefits of the technology in the supply chain. For this purpose, was performed an investigation of the fundamental structure of RFID technology applied in the industry and validated through experiments that represent real-world environments. Based on the above, the investigations, prosecutions, experiments and obtained results from them that involve the design and implementation of the laboratory are exposed.

*Undergraduate thesis.

**Faculty de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones. Advisor: Msc. Jorge Hernando Ramón. Co-Advisor: MIE(C) Éfren Darío Acevedo.

Laboratorio de identificación por radiofrecuencia enfocado al estudio de procesos logísticos

Héctor Gil Mendoza¹, Edgar Andrés Quintana Acevedo²
¹hgm2522@hotmail.com, ²edgarquintana984@hotmail.com

Grupo de investigación en Conectividad y Procesamiento de Señales (CPS), Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones, Universidad Industrial de Santander.

Resumen— Dentro de la cadena de suministro se ejecutan continuamente procesos logísticos que aseguran el flujo continuo de los bienes o productos para lograr la satisfacción de diferentes consumidores. En las últimas décadas, se ha visto un gran interés por parte de las empresas del sector industrial hacia la aplicación de la tecnología de identificación por radiofrecuencia (*RFID*), puesto que brinda numerosas ventajas a los procesos logísticos. Sin embargo, el elevado costo que esta tecnología implica y la falta de personal capacitado dificultan la inmediata adopción de *RFID* en las empresas. Este trabajo está enfocado a destacar el proceso realizado en el diseño e implementación de un laboratorio de procesos logísticos en la Universidad Industrial de Santander basado en la tecnología *RFID* y planeado de acuerdo a la necesidad de estudiar las características y beneficios de la tecnología en la cadena de suministro. Para tal propósito, se llevó a cabo una investigación exhaustiva de la estructura fundamental de la tecnología *RFID* aplicada en el sector industrial y se validó a través de experimentos y pruebas que representan entornos reales. Con base en lo anterior, se presentan las investigaciones, experimentos, pruebas y resultados obtenidos que conllevan al diseño e implementación del laboratorio.

Palabras Clave— *Identificación* por radiofrecuencia, *Tag*, *RFID*, *RSSI*, Cadena de suministro, Procesos Logísticos.

Abstract— Within the supply chain are executed and carried out different logistic processes which make it possible to ensure and consolidate the continuous flow of goods or products with the purpose of achieve customer satisfaction. In recent decades, there has been a great interest from industrial companies towards implementing automatic identification data technology, as radio frequency identification (*RFID*), in their processes and supply chains as it provides numerous advantages to logistic processes. However, the high cost, the lack of trained personnel and the absence of a place to test the advantages and disadvantages of the technology hinder the immediate adoption of *RFID* in the companies. This work is focused on highlight the activities and processes involved in the design and implementation of a logistics processes laboratory in the Universidad Industrial de Santander based on the radio frequency identification technology (*RFID*) and planned according to the need to explore the features and benefits of the technology in the supply chain. For this purpose, was performed an investigation of the fundamental structure of *RFID* technology applied in the industry and validated through experiments that represent real-world environments. Based on the above, the investigations, prosecutions, experiments and obtained results from them that involve the design and implementation of the laboratory are exposed.

Key Words— *Radiofrequency Identification*, *Tag*, *RFID*, *RSSI*, *Supply Chain*, *Logistic Processes*.

I. INTRODUCCIÓN

La identificación por radiofrecuencia, más conocida por sus siglas en inglés como *RFID*, ha sido una de las tecnologías de identificación de producto más destacadas alrededor del mundo en la última década. En la actualidad, la principal aplicabilidad de los sistemas *RFID* se encuentra en el campo de la logística y 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. [1]

En la actualidad, en Colombia son muy pocas las compañías pertenecientes al sector empresarial que han incorporado la tecnología *RFID* a sus procesos, por motivos relacionados a los costos de inversión en los equipos y la falta de capacitación y conocimiento de la misma [2], de allí nace la preocupación de contar con herramientas de estudio y análisis que permitan demostrar los beneficios que *RFID* pueda proporcionar a determinadas compañías y ayudar a crear los caminos de su implementación. A partir de la situación actual, se presenta la necesidad de crear un laboratorio dotado con equipos y elementos que permitan acceder a los servicios de estudio y capacitación relacionados con *RFID* en los procesos logísticos de las medianas empresas regionales.

El resultado de esta investigación, presenta los fundamentos de la tecnología *RFID*, el estado del panorama internacional de los laboratorios de logística soportados en *RFID* y la propuesta de laboratorio donde se dan a conocer las investigaciones, el proceso, los experimentos, las observaciones y resultados obtenidos en su diseño e implementación.

II. FUNDAMENTOS DE LA TECNOLOGÍA *RFID*

La funcionalidad de *RFID* se basa en el reconocimiento automático de objetos por medio de señales de radiofrecuencia. En un sistema *RFID* interactúan principalmente tres elementos: el *tag*¹, la antena del lector y el dispositivo lector. El *tag* está compuesto por un circuito integrado y una antena

para comunicación en radiofrecuencia, su diseño puede variar dependiendo de la aplicación y es el que va adherido de cierto modo al objeto que se desea identificar. En el mercado actual, los *tags* pueden ser categorizados en general como activos (poseen batería para su alimentación) y pasivos (no poseen batería y se alimentan usando parte de la energía de la señal que es recibida). La antena lectora es el puente de comunicación entre el *tag* y el dispositivo lector, esto es posible por medio de una señal de radiofrecuencia que se emite desde el lector hasta el *tag*, el cual al recibir dicha señal responde con otra señal de radiofrecuencia codificada digitalmente con la información guardada en su *chip*. Por último se encuentra el dispositivo lector o *reader*, que procesa la señal de respuesta del *tag* recibida a través de la antena lectora y la decodifica para extraer la información que contiene. [3][4]

El parámetro más relevante en la tecnología *RFID* es la frecuencia de operación, es decir, la periodicidad a la cual son transmitidas las señales entre el lector y el *tag*. A nivel internacional se encuentran cuatro bandas de frecuencias en las que *RFID* puede ser implementado, reguladas por los estándares *ISO*² de la serie 18000 para uso industrial y comercial a nivel mundial [5]. Estos son: las bandas cercanas a los 125 [kHz] o LF (*Low Frequency*) y a los 13.56 [MHz] o HF (*High Frequency*), la banda de 860-960 [MHz] o UHF (*Ultra High Frequency*) y la banda cercana a los 2.4 [GHz] o conocida como la banda de las microondas. El rango de lectura depende directamente de la frecuencia de operación; la distancia de lectura para bandas LF y HF es menor a un metro y para la banda UHF es alrededor de cinco metros. [6]

Debido a la finalidad o propósito del uso de *RFID*, es normal compararla con la tecnología de identificación de productos más conocida y usada a nivel mundial; como lo es el código de barras. El resultado de esta comparación arroja una lista de ventajas y desventajas de una tecnología frente a la otra, algunas de las más notorias, halladas en [3], se expresan en la tabla I.

¹ El término *tag* proviene del idioma inglés y hace referencia a una pieza pequeña, tarjeta o etiqueta que es adherida a una persona u objeto y contiene cierta información de los mismos.

² *International Organization for Standardization.*

TABLA I.

COMPARACIÓN ENTRE RFID Y EL CÓDIGO DE BARRAS EN LA CADENA DE SUMINISTRO

CARACTERÍSTICA	RFID	CÓDIGO DE BARRAS
Línea de vista	No se requiere	Se requiere
Velocidad de lectura	Superior	Inferior
Multilectura	Capaz	Incapaz
Durabilidad	Superior	Inferior
Almacenamiento	Superior	Inferior
Reescribible	Si	No
Seguridad de la información	Puede ser encriptado	No puede ser encriptado
Costo	Superior	Inferior
Afectación por emisiones electromagnéticas	Alta	Nula

III. ESTADO DEL ARTE

Debido a las numerosas ventajas y versatilidad de la tecnología de identificación por radiofrecuencia, en varios países se han creado *testbed* con diferentes finalidades en torno a RFID. Los *testbed* son áreas equipadas con instrumentos y equipos usados en pruebas adyacentes a entornos industriales, que posibilitan el análisis estructurado de una tecnología. Los principales *testbed* RFID han sido focalizados en estudios relacionados con los retos en la implementación de sistemas RFID. [7]

A nivel internacional, el principal centro de investigación relacionado con RFID es el “*RFID Research Center*” creado en el año 2005 y ubicado en la universidad de Arkansas (USA); este brinda servicios de instrucción e investigación a la comunidad académica en el uso de la tecnología *RFID* y los beneficios para la industria. Para tal propósito, el centro de investigación cuenta con un laboratorio de aproximadamente 1,000 metros cuadrados dotado de muelles de cargue y descargue, bastidores de almacenamiento, sistemas de bandas transportadoras, una tienda simulada, entre otros elementos necesarios para replicar los procesos relacionados con la trazabilidad de productos a través de la cadena de suministros. [8][9]

En otro tipo de investigación, se propone el estudio experimental de un sistema moderno de *RFID* en la

banda UHF basado en el estándar EPC³ Clase 1 Generación 2, enfocado a entornos reales donde se estudian parámetros como los efectos por interferencias electromagnéticas e influencia de materiales dieléctricos y metálicos. Para el análisis de los parámetros realizaron la simulación de un sistema de identificación típico (trazabilidad de productos almacenados en un contenedor). Los componentes usados en los experimentos son: una caja de cartón (usada como contenedor), 36 cajas de cartón pequeñas (usadas como productos a identificar), 36 *tags* UHF pasivos, un dispositivo lector *RFID* de la banda UHF, una antena de polarización circular y una computadora portátil. Al ubicar los elementos en diferentes escenarios sin obstáculos encontraron la relación entre potencia radiada por la antena lectora y el rango de lectura. [10]

En [11], se menciona la importancia de contar con un modelo de propagación de señales electromagnéticas emitidas en *RFID* UHF, con el fin de analizar el entorno donde se implementa la tecnología, de tal manera que se logren mejoras en el sistema. El trabajo consiste en estudiar la identificación de un número de cubetas de polipropileno ubicadas en un entorno vehicular cerrado, etiquetadas con *tag* RFID y leídas mediante antenas de polarización circular y lineal. Para comprobar los efectos de la propagación electromagnética en ese escenario, se usó un algoritmo de lanzamiento de rayos en 3D, implementado en *MATLAB*TM que permite analizar fenómenos de reflexión y difracción de ondas por la geometría y características de los materiales presentes en el ambiente del experimento.

Finalmente, en [12] se analizan los parámetros de frecuencia de operación, orientación de los *tags* y distancia de lectura usando el método de TAGUCHI⁴. En el estudio se utiliza la tecnología RFID en la identificación de cajas *TFT-LCD*⁵ donde se realizan

³ *Electronic Product Code*.

⁴ El método de Taguchi es una metodología para la aplicación de procesos estadísticos. Lleva su nombre en honor a su desarrollador Genichi Taguchi.

⁵ *Thin Film Transistor – Liquid Crystal Display*.

diferentes tipos de etiquetado y paletización⁶. De esta manera, se concluye que la tasa de lectura de los tags varia de acuerdo a la posición relativa con las antenas lectoras, sugiriendo que la dirección entre ellos debe ser perpendicular.

IV. PROPUESTA

A pesar de las numerosas ventajas brindadas por la implementación de *RFID*, existen ciertos criterios que deben ser considerados al momento de seleccionar los elementos que hacen parte de un sistema de identificación basado en esta tecnología. Factores técnicos y de diseño, el tipo de aplicación que se requiera junto a la inversión económica, influyen directamente. Algunos criterios a tener en cuenta son las condiciones del entorno, la frecuencia de trabajo, los objetos a identificar, potencia emitida y alcance de lectura.[13] Partiendo de lo anterior, se propuso un proyecto como tesis de grado en la carrera de Ingeniería Electrónica, para el desarrollo de un prototipo de laboratorio que permita el estudio, caracterización y aplicabilidad de los principales elementos que componen un sistema *RFID*, enfocado a los procesos logísticos del sector empresarial regional.

El objetivo general de la investigación es complementar tecnológicamente el proceso de diseño e implementación del laboratorio de procesos logísticos de la Escuela de Estudios Industriales y Empresariales de la Universidad Industrial de Santander, con sede principal en la ciudad de Bucaramanga, departamento de Santander (Colombia). Este mismo hace parte del proyecto de maestría en ingeniería electrónica "EVALUACION DE LAS TECNOLOGÍAS DE IDENTIFICACIÓN POR RADIOFRECUENCIA Y LOCALIZACIÓN EN TIEMPO REAL COMO HERRAMIENTAS PARA EL MEJORAMIENTO LOGÍSTICO", de la misma entidad universitaria.

Como primer paso, se realizó un proceso de análisis y comparación de características de los dispositivos *RFID* en el mercado actual, que a su vez se ajustan a los requerimientos del laboratorio piloto teniendo en

cuenta el espacio, las condiciones de trabajo y los elementos básicos de la cadena de suministro.

La tecnología *RFID* pasiva, es la usada comúnmente en aplicaciones de logística y se destaca por el tamaño de los *tags*. Entre las propiedades fundamentales para la selección de los dispositivos se tuvo en cuenta la frecuencia de operación, que para las regulaciones de Colombia debe estar entre los 902 a 928 MHz; la polarización de las antenas lectoras, la cual influye en los rangos de lectura y la sensibilidad en la identificación de los *tags*; el patrón de radiación de las antenas, que muestra la variación de la potencia radiada por la antena en función de la dirección y es usado para ilustrar el área de lectura; la sensibilidad de los dispositivos lectores, que aumenta la posibilidad de identificar un *tag* con el uso de bajas potencias emitidas; la velocidad de codificación y resolución de impresión de códigos de barra de la impresora *RFID* y el tamaño y rendimiento de los *tags*.

Paralelo a la elección de los equipos, se diseñó y construyó una estructura metálica flexible que proporciona un soporte para antenas lectoras, con la finalidad de configurar un portal lector *RFID* (ver Fig. 1), usualmente situados en la entrada y/o salida de bodegas dotadas de un sistema *RFID*, destacando la característica de ser desarmable y ajustable a diferentes entornos, además, permite ubicar antenas lectoras en diversas posiciones y orientaciones según se requieran. Por otra parte, para la simulación de procesos de almacenamiento y actualización de inventarios en tiempo real en un punto de venta, se diseñó una estantería de madera para alojar cuatro antenas lectoras, que permitan el reconocimiento de los productos depositados en ella etiquetados con *tags RFID* (ver Fig. 2); este tipo de estanterías son denominadas "estanterías inteligentes".

⁶ Paletización, también conocido como paletizado en el sector empresarial, consiste en disponer mercancía sobre un palé para ser almacenada y transportada.



Fig. 1. Portal lector *RFID*.



Fig. 2. Estantería inteligente *RFID*.

Los dispositivos que hacen parte del sistema diseñado son:

- Un lector *RFID* estático (*Reader*) *Speedway R420*, encargado de comunicarse con las antenas (Estantería, portal, punto de venta, túnel interrogador) para hacer las respectivas identificaciones.
- Un lector *RFID* portátil (*Handheld*) *ALH-9001*, con capacidad para la lectura de *tags* y códigos de barras que facilita la ubicación de productos en la bodega para el proceso de alistamiento.
- Dos antenas de polarización lineal *ARC-PA0913B01* y dos de polarización circular *S9028PCR/S9028PLC*, a ubicar en el portal lector.

- Una antena *Brickyard* para lecturas de corto alcance y cuatro antenas lineales *Times 7 A7075* para uso en estantes inteligentes, todas aptas para el manejo de inventario en el punto de venta.
- Dos antenas duales de polarización circular *Guardwall* *ILT*, implementadas para el reconocimiento de productos a nivel artículo en la salida de la bodega.
- Una impresora *RFID RZ400* capaz de imprimir códigos de barras y codificar *tags* pasivos UHF del estándar EPC Clase 1 Generación 2.

El laboratorio cuenta con un área aproximada de 130 metros cuadrados que se han dividido de acuerdo a la Tabla II. El plano 2D de la distribución del laboratorio es mostrado en la Fig. 3; en él se observa la ubicación de las secciones y los principales elementos que conforman el sistema *RFID*. El recorrido inicia desde la sección del proveedor, donde se imprimen los *tags* que identifican los productos con los que se abastece la bodega, en cuya entrada se sitúa el portal *RFID* que controla el ingreso de los productos; y para el seguimiento en la salida de los mismo se utiliza un túnel interrogador; por último, en el punto de venta se reciben los productos que salen de la bodega y estos son almacenados en la estantería inteligente *RFID* que mantiene actualizado el inventario en tiempo real.

TABLA II
DIVISIÓN ÁREA DEL LABORATORIO

SECCIÓN	FUNCIÓN	ÁREA [m ²]
Proveedor	Suministra o abastece la bodega con las existencias necesarias de un producto.	40
Bodega	Lugar en el que se han de almacenar los productos o existencias suministrados por el proveedor de manera temporal antes de hacerles llegar al punto de venta.	60
Punto de venta	Lugar en el que se atiende a los clientes de forma presencial con el fin de vender los productos.	20

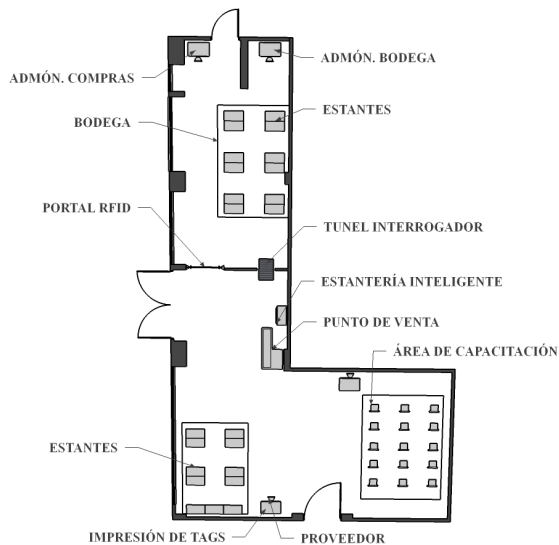


Fig. 3. Plano de distribución del laboratorio.

El *tag* es uno de los elementos clave en un sistema *RFID*, por lo tanto, la correcta elección y uso del mismo es indispensable para el éxito de la aplicación. Teniendo esto en mente, se creó una herramienta computacional que consiste en un algoritmo desarrollado en el software *MATLAB*TM encargado de procesar ciertos datos de interés recopilados por el lector *RFID*, con el fin de analizar la respuesta del *tag*, facilitando su observación y entendimiento en un entorno real. Por medio de la interfaz *Multireader*, suministrada por el fabricante del dispositivo *Speedway R420*, es posible realizar la comunicación entre el lector y cualquier ordenador, a través de un protocolo de lectura de bajo nivel denominado *LLRD* (protocolo certificado por *EPCGlobal*⁷ destinado a estandarizar las interfaces de red de los lectores *RFID*), mediante el cual, el usuario adquiere la capacidad de interactuar con el lector, configurar los parámetros de lectura y acceder a la información recopilada que se proyecta directamente en la interfaz con la posibilidad de ser guardada en un archivo de extensión *CSV*⁸. La tarea del algoritmo, es procesar los datos exportados en el archivo *CSV* y

⁷ *EPCGlobal* es una organización que tiene como misión la estandarización en el campo de la industria para el uso del Código Electrónico de Producto (EPC).

⁸ *CSV (Comma Separated Values)* es un formato digital para representar datos distribuidos en forma de tabla.

calcular la media aritmética de todos los valores *RSSI*⁹, que es el factor de análisis del estudio; registrado por el lector cada vez que un *tag* es leído, lo cual puede presentarse cientos de veces, para luego mostrar el resultado por medio de un código de colores que suministra una interpretación del rendimiento del *tag* ante el escenario en que se encuentre operando el sistema. Un ejemplo de los resultados generados con el algoritmo se ilustra en la Fig. 4 donde cada *tag* es representado por cuatro rectángulos conjuntos y la intensidad del color es proporcional al valor promedio del *RSSI* asociando los tonos oscuros a bajas potencias y los vívidos a altas potencias.

Determinada la forma de medir y observar el comportamiento del parámetro *RSSI*, se enfatizó en la realización de pruebas con el fin de evaluar el rendimiento de los diferentes elementos y dispositivos del sistema. Inicialmente se efectuó una evaluación de los diferentes tipos de *tags* UHF EPC Clase 1 Generación 2 adquiridos por medio de muestras ofrecidas por la compañía *AVERY DENNISON*. En la Fig. 5 se muestran imágenes de los mismos tomadas de su página web.

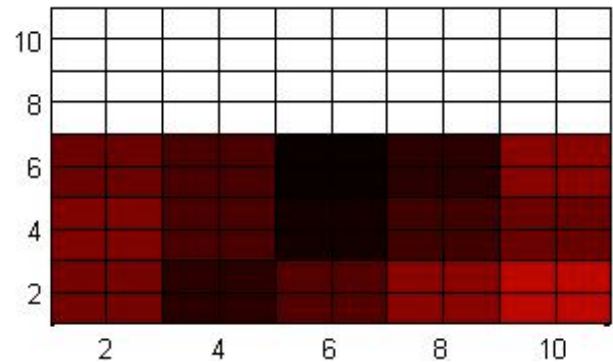


Fig. 4. Ejemplo del resultado del algoritmo de *MATLAB*TM.

⁹ *RSSI (Received Signal Strength Indication)* es un parámetro de referencia del nivel de potencia de las señales recibidas por un determinado dispositivo en las comunicaciones inalámbricas.

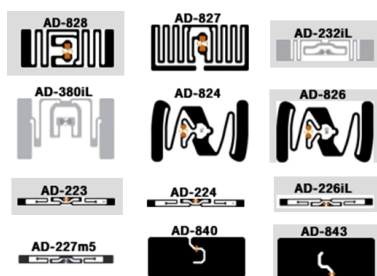


Fig. 5. Tags adquiridos para las pruebas.

Al adherir varios tags de cada tipo a cajas vacías y agruparlas frente a una antena de polarización circular, se realizaron lecturas continuas para detectar cada uno de los tags y analizar cuáles mostraban una mejor respuesta ante diferentes condiciones de distancia, orientación, potencia radiada por el lector y posición de la antena lectora. Se distinguieron los tags que mostraron el mejor desempeño en función del parámetro *RSSI* para finalmente escoger el adecuado para el laboratorio, seleccionando el AD 224. En la Fig. 6 es posible observar los resultados numéricos de la media aritmética del *RSSI* en relación a la posición de cada etiqueta en conjunto con la interpretación grafica, enfatizando en los valores más cercanos al cero.

Definido el tag de trabajo, se diseñó y desarrolló pruebas enfocadas a evaluar diferentes escenarios logísticos como la identificación automática, recepción, alistamiento, almacenamiento, venta y despacho de productos, destinadas a resaltar parámetros que puedan o no influenciar en la generación de un cien por ciento de lecturas. Para las pruebas se utilizó grupos de productos de zapatos, botellas de agua y latas de gaseosa etiquetados y almacenados en cajas de cartón, con el propósito de observar el nivel de afectación de la señal recibida del tag al cambiar el material del objeto a identificar. (Ver Fig. 7 y 8)

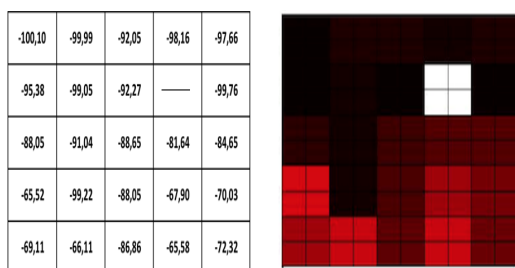


Fig. 6. Resultado media aritmética en la prueba de selección de etiquetas.

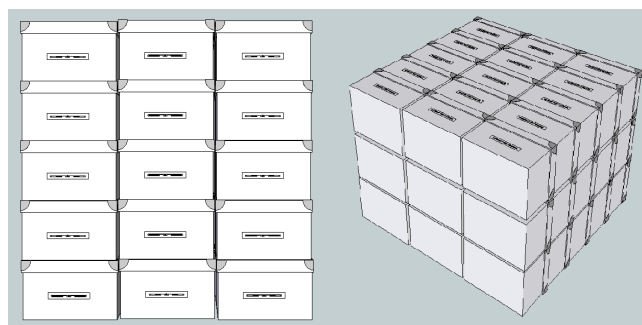


Fig. 7. Distribución y etiquetado en las pruebas con zapatos.

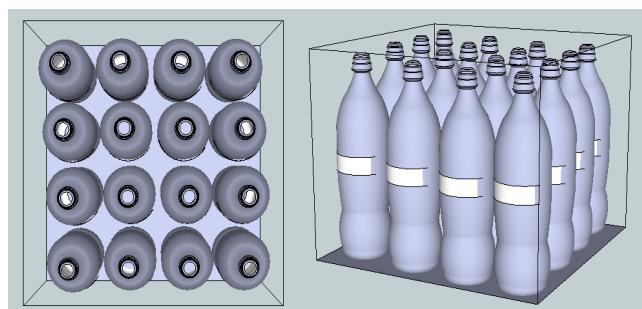


Fig. 8. Distribución y etiquetado de las botellas de agua.

Cada grupo de productos se evaluó en los escenarios logísticos planteados, realizando lecturas continuas en cada etapa con diferentes condiciones y parámetros de operación. Los resultados de las pruebas se analizaron con el algoritmo de *MATLAB*TM en el que se observó que la identificación de los productos mejoraba cuando el tag apuntaba directamente hacia las antenas lectoras, además, se detectó deficiencia en la identificación de productos compuestos por líquidos y metales con la tecnología RFID al presentar lecturas por debajo del cincuenta por ciento, especialmente en líquidos. Entre las pruebas realizadas, se utilizó un analizador vectorial de redes *ROHDE & SCHWARZ ZVL* con el fin de examinar los parámetros de dispersión en las antenas y conexiones del sistema, permitiendo observar la respuesta en frecuencia y pérdidas por entorno. En la Fig. 9 se ilustra la respuesta de una de las antenas lectora cuando es estimulada por diferentes señales de frecuencia, evidenciando principalmente la excitación en las de 840 (M_1) y 915 (M_2) MHz, correspondientes a señales de telefonía celular y de los equipos RFID del laboratorio, respectivamente. Se concluye entonces que en esta prueba no se presentaron interferencias por

emisiones electromagnéticas que se encuentran en el entorno.

En la Tabla III, se registran las pérdidas en función de la distancia de los cables coaxiales *LMR 200* que interconectan el sistema del laboratorio. Estos se caracterizaron por medio del mismo analizador vectorial de redes ya mencionado. Es evidente en estos resultados, que las pérdidas de potencia de la señal transmitida aumentan con la distancia del cable por el que se fluye la señal.

TABLA III
PÉRDIDAS EN LOS CABLES

LMR 200	
LONGITUD [m]	PERDIDA [dB]
2	1.501
3	1.710
5	2.321
6	2.701

Entre los resultados se evidenció que el sistema es afectado principalmente por:

- La potencia emitida del lector.
- Las pérdidas de potencia generadas en los cables de conexión.
- El posicionamiento de las antenas lectoras.
- La orientación de los tags respecto a la antena lectora.
- Objetos que obstaculicen las señales de radiofrecuencia.
- El tiempo de exposición a las ondas de radiofrecuencia.
- Cada tipo de material presente en los productos a identificar.

En función de los resultados obtenidos se generan diversas recomendaciones para mejorar el rendimiento del sistema:

- Las antenas lectoras deben ser orientadas y ubicadas para que su ancho de haz se enfoque directamente sobre los productos a identificar.
- Realizar el etiquetado de productos buscando que los tags se posicionen apuntando directamente a las antenas. (Ver Fig. 10).

- Evitar la introducción de elementos que interfieran con la propagación de las ondas de radiofrecuencia entre los tags y las antenas lectoras.
- La potencia del lector debe graduarse en función de la distancia entre los tags y las antenas.
- Para mejorar la identificación de productos compuestos por líquidos o metales se debe usar tags especiales o alternativamente imprimir un código de barras en la etiqueta con la impresora RFID.
- El tiempo de exposición de los tags a las ondas de radiofrecuencia al pasar a través de un portal RFID debe oscilar entre dos a cinco segundos.
- Debido a efectos de propagación, las antenas ubicadas en la estantería inteligente deberán ser configuradas individualmente para determinar la ganancia adecuada en cada una de ellas que permita obtener únicamente las lecturas deseadas.
- Ubicar el lector RFID a la menor distancia posible de las antenas lectoras para evitar el uso de cables adicionales que aumenten las pérdidas de potencia del sistema.

Teniendo en cuenta los estudios, pruebas efectuadas y resultados obtenidos, se generó un conjunto de guías prácticas dirigidas a los usuarios del laboratorio, con el objetivo de representar escenarios industriales que posibiliten el análisis de la tecnología *RFID* aplicada a la cadena de suministro. La secuencia de trabajo se observa en la Fig. 11. Las guías proyectan inicialmente una idea general de un sistema *RFID*, los elementos que lo conforman, los principales parámetros y conceptos fundamentales; su desarrollo comprende el reconocimiento de distintos *tags* identificando su estructura, configuración y utilización dentro del sistema, además, exponen las principales características y parámetros de las antenas lectoras. Consecutivamente, presentan el estudio de los fenómenos que afectan la propagación de las ondas y su reacción al incidir en diferentes materiales, finalizando con la determinación de los problemas que se generan al tratar de identificar varios productos a la vez.

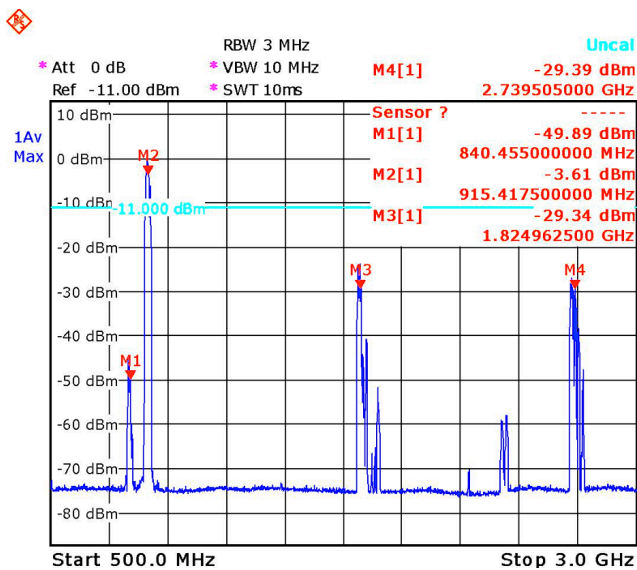


Fig. 9. Respuesta antena lectora *RFID*.

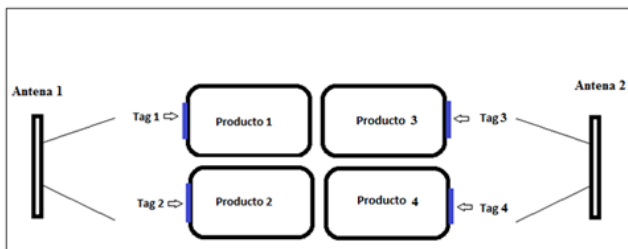


Fig. 10. Forma efectiva de etiquetar productos paletizados.

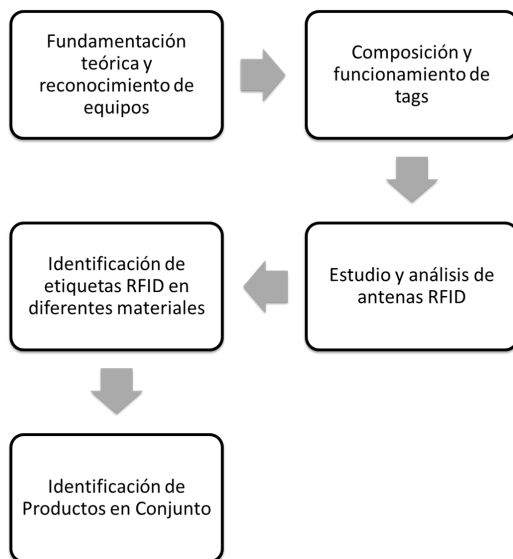


Fig. 11. Secuencia de las guías de laboratorio.

V. CONCLUSIONES

Con la finalización de este proyecto se obtuvo un sistema para un prototipo de laboratorio que permite la evaluación de la tecnología *RFID* aplicada a los procesos logísticos de las empresas, de lo cual, se consigue disponer de una herramienta de estudio e investigación que ofrece a los usuarios la capacidad de interactuar con dicha tecnología y observar el funcionamiento en procesos reales y para evaluar las ventajas o desventajas que esta pueda presentar.

Se realizó el proceso de estudio, análisis de características y compra de los dispositivos capaces de soportar tecnologías de código de barras e identificación por radiofrecuencias requeridas para el laboratorio piloto de procesos logísticos de la escuela de estudios industriales y empresariales UIS. La selección de los equipos adquiridos se hizo tomando en cuenta el espacio, condiciones técnicas de trabajo, compatibilidad tecnológica, regulaciones y estándares para los elementos de una cadena de suministro implementada en el laboratorio.

Mediante el análisis de los resultados de las pruebas, se identificaron las debilidades y fortalezas de las tecnologías de identificación de productos escogidas para la implementación del laboratorio, destacando los principales hallazgos y mostrando todos los factores y parámetros que pueden influir en su utilización, presentando recomendaciones que buscan incrementar el rendimiento del sistema en los diferentes escenarios logísticos implementados en el laboratorio.

Se creó una serie de guías técnicas y de laboratorio que permiten recrear los procedimientos desarrollados durante la investigación y con ello lograr medir y concluir cuales pueden ser las mejores vías de aplicación de *RFID* en determinados procesos que se deseen mejorar en un entorno específico.

REFERENCIAS

- [1] Y. M. Lee, F. Cheng, and Y. T. Leung, "Exploring The Impact Of RFID Supply Chan Dynamics," 2004.
- [2] F. León Fajardo, *tecnología RFID en Colombia, un gegocio con muchas oportunidades*. 2012.
- [3] F. Xavier, O. K. Hikage, M. Scheneck, D. P. Pessôa, A. L. Fleury, and A. History, "A View about RFID Technology in Brazil," 2010.
- [4] Z. Wang, H. Wang, and Y. Pang, "Integration of Logistics Information System and RFID Technology," *2009 International Conference on Information Technology and Computer Science*, pp. 138–141, Jul. 2009.
- [5] LIBERA, "RFID: TECNOLOGÍA, APLICACIONES Y PERSPECTIVAS," *WHITE PAPER*, 2010.
- [6] J. Li and C. Tao, "Analysis and Simulation of UHF RFID System," *2006 8th international Conference on Signal Processing*, pp. 0–4, 2006.
- [7] Y. Choi, J. U. Won, and J. H. Park, "An experimental testbed for parcel handling with RFID technology," *2006 8th International Conference Advanced Communication Technology*, p. 6 pp.–326, 2006.
- [8] R. Khelladi, M. Djeddou, and M. Benssalah, "Design and implementation of passive UHF RFID system," *2012 24th International Conference on Microelectronics (ICM)*, no. lcm, pp. 1–4, Dec. 2012.
- [9] J. Patton and B. Hardgrave, "An Overview And Introduction To The RFID Research Center At The University of Arkansas," *IEEE APPLICATION & PRACTICES*, pp. 12–13.
- [10] M. Bertocco, A. D. Chiara, and A. Sona, "Performance Evaluation And Optimization Of UHF RFID Systems," 2010.
- [11] L. Azpilicueta, H. Landaluce, I. Angulo, A. Perallos, and F. Falcone, "SISTEMA RFID EN UN ENTORNO."
- [12] C. Huang, L. Lo, W. Wang, and H. Chen, "A study for optimizing the reading rate of RFID tagged cartons in palletizing process," *2008 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, pp. 1138–1142, Dec. 2008.
- [13] "Criterios para elegir un sistema RFID - Enjoy Solutions - Soluciones RFID." [Online]. Available: <http://www.enjoy-solutions.es/la-tecnolog%C3%ADa-rfid/criterios-para-elegir-un-sistema-rfid/>.