

EVALUACIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE IDENTIFICACIÓN POR  
RADIOFRECUENCIA COMO HERRAMIENTA DE MEJORA DE PROCESOS  
LOGÍSTICOS

EFRÉN DARÍO ACEVEDO CÁRDENAS

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELECTRICA, ELECTRÓNICA Y DE  
TELECOMUNICACIONES  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
BUCARAMANGA,  
2017

EVALUACIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE IDENTIFICACIÓN POR  
RADIOFRECUENCIA COMO HERRAMIENTA DE MEJORA DE PROCESOS  
LOGÍSTICOS

EFRÉN DARÍO ACEVEDO CÁRDENAS

Trabajo de Grado para optar por el título de  
Magíster en Ingeniería Electrónica

Director

Javier Eduardo Arias Osorio.

Magíster en Administración

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECAÑICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELECTRICA, ELECTRÓNICA Y DE  
TELECOMUNICACIONES  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
BUCARAMANGA

2017

## Agradecimientos

Durante este proceso llegaron y se fueron dos personas: una a quien le debo parte de lo que he llegado a ser (Jorge Ramón) y otra por su amistad desinteresada quien siempre mostró su lucha constante por vivir (Diego Monroy). No tuve la oportunidad de agradecer personalmente, pero quiero dejar grabado su nombre en este documento: Jorge Hernando Ramón Suarez quien fuese mi mentor por el cien por ciento de mi trabajo, pero por esos subviertas de la vida y mis inseguridades su firma no está impresa en este documento como siempre lo pensé.

A José de Jesús Rugeles Uribe por esa llamada inesperada que cambiaría el rumbo de mi vida, gracias por la oportunidad que me brindó al hacerme parte de este proyecto, porque estoy seguro que, sin su confianza, nada de esto hubiese sucedido y quizá mi camino fuese otro. Indudablemente, el profesor Javier Eduardo Arias Osorio, quien no solo oficia como director de mi trabajo, sino que fue esa persona que ha acompañado el proceso investigativo y que además continúa apoyando mis ideas de aplicación de la tecnología en escenarios logísticos.

Eres parte de todo este proceso, con aciertos y desaciertos aprendí a compartir y a soñar junto a ti. Leidy Carolina Prieto Campo, gran parte de esta meta lograda la debo a ti, tú que estuviste en cada caída alentándome y entregándome todo su amor. Lo único que aprendí a lo largo de este proceso es a perseverar, porque muchas veces sentí ganas de infinitas de dejar todo a un lado y continuar con un nuevo camino, pero siempre hubo algo o alguien invitándome a continuar.

A Héctor Gil, Edgar Quintana, Milena Vargas, Alejandro Gutiérrez, Jhoimar Salamanca, Alex Parra, Iván Yáñez por sus aportes a la investigación en temas relacionados con la implementación de RFID en gestión logística desde distintos enfoques.

Compañeros Dorfell Parra, Carlos Boada, Julio Flórez, Arbey Páez y Raúl Valdivieso por su apoyo en todo el proceso de formación profesional.

Actualmente, el proceso continúa avanzando, mi espíritu de investigador de la Universidad Industrial de Santander se ha engrandecido por la oportunidad que me ha brindado de ser parte activa como docente.

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	14
1.1. DESAFÍOS TÉCNICOS EN LA IMPLEMENTACIÓN DE RFID. ....	24
1.2. EQUIPOS SELECCIONADOS .....	32
1.3. ANTECEDENTES Y MOTIVACIÓN EN LA INVESTIGACIÓN.....	40
1.4. CONTRIBUCIONES DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN.....	41
1.5. RESUMEN DEL DOCUMENTO .....	41
2. METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN TÉCNICA DE RFID EN ESCENARIOS INDUSTRIALES.....	43
2.1. METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE LOS DESAFÍOS TÉCNICOS EN LA IMPLEMENTACIÓN DE RFID. ....	44
2.2. EVALUACIÓN DE LOS DESAFÍOS TÉCNICOS CON LA METODOLOGÍA PROPUESTA	47
3. IMPLEMENTACIÓN DE TESTBED EN UN ESCENARIO ACADÉMICO.....	65
3.1. VISIÓN EL LABORATORIO DE LOGÍSTICA UIS.....	66
3.2. DISTRIBUCIÓN FÍSICA DEL LABORATORIO DE LOGÍSTICA.....	67
3.3. DISEÑO TÉCNICO DEL LABORATORIO DE LOGÍSTICA .....	72

4.	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PILOTO RFID EN EL SECTOR TEXTIL.....	82
4.1.	PROCESOS LOGÍSTICOS INTERVENIDOS CON RFID EN LA PRUEBA PILOTO .....	84
4.2.	IMPLEMENTACIÓN DE LA TECNOLOGÍA EN LOS PRINCIPALES PROCESOS LOGÍSTICOS .....	89
4.3.	EVALUACIÓN FINANCIERA DE LA IMPLEMENTACIÓN DE RFID Y COMPARACIÓN CON LA TECNOLOGÍA DE CÓDIGO DE BARRAS .....	97
5.	CONCLUSIONES Y FUTURAS INVESTIGACIONES .....	110
	BIBLIOGRAFÍA.....	112

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. LPI Colombia en Latinoamérica y el caribe 2012.....	17
Figura 2. Evolución del LPI para Colombia 2007 -2012.....	18
Figura 3. Resumen de la arquitectura EPCglobal.....	20
Figura 4. Frecuencias usadas a nivel mundial.....	22
Figura 5. Lector fijo. IMPINJ - SPEEDWAY REVOLUTION R420.....	33
Figura 6. Antena de polarización Circular- Laird S9028PCL.....	34
Figura 7. Antena de polarización lineal - ARC-PA0913B01.....	35
Figura 8. Lector Portable ALIEN® ALH-9001.....	36
Figura 9. Lector Portable Motorola MC9190-Z.....	37
Figura 10. Impresora RFID. ZEBRA RZ400.....	38
Figura 11. Antena de etiqueta RFID pasiva AD-224.....	39
Figura 12. Modelo de implementación de un sistema RFID - Caso de negocios...	44
Figura 13. Metodología propuesta.....	46
Figura 14. Tag utilizados en la prueba.....	48
Figura 15. Rotación de los tag.....	49
Figura 16. Esquema de evaluación de interferencia entre lectores.....	52
Figura 17. Modos de lectura LLRP.....	56

Figura 18. Etiquetado de materiales conductores.....	58
Figura 19. Etiquetado de material absorbente .....	59
Figura 20. Resultados de la evaluación de etiquetado en material absorbente .....	60
Figura 21. Productos utilizados en las lecturas de conjunto .....	61
Figura 22. Primer escenario de evaluación.....	62
Figura 23. Segundo escenario de evaluación .....	63
Figura 24. Medida de la banda de frecuencia comprendida entre 500 MHz y 3 GHz .....	64
Figura 25. Distribución física del laboratorio de logística UIS .....	67
Figura 26. Vista del escenario del Proveedor .....	68
Figura 27. Centro de distribución.....	69
Figura 28.a. Portal de entrada RFID (Izq.), Túnel interrogador (der.) .....	70
Figura 29. Punto de venta.....	71
Figura 30. Diagrama de comunicación del sistema RFID del laboratorio. ....	72
Figura 31. Conexión del lector con los diferentes escenarios logísticos .....	73
Figura 32. Ubicación de tag RFID.....	75
Figura 33. Etiquetado del contenedor de materiales absorbentes y conductores..	81
Figura 34. Agrupación de contenedores de productos .....	81
Figura 35. Centro de Distribución COMERTEX S.A. ....	83

Figura 36. Estado actual de los procesos logísticos desarrollados en COMERTEX S.A. y la solución planteada con la tecnología RFID .....	85
Figura 37. Ubicación de la prueba piloto (pasillos 15 y 16).....	90
Figura 38. Ubicación del portal de entrada. ....	92
Figura 39. Diseño técnico del portal de entrada. Vista frontal (Izq.) vista superior (Der.).....	93
Figura 40. Ubicación del portal de salida .....	93
Figura 41. Diseño técnico del portal de salida. ....	94

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Resultados de la evaluación de los ante la presencia de campo lejano ..	50
Tabla 2. Porcentaje de lecturas exitosas obtenidass en el análisis de interferencia entre dos lectores sincronizados.....	54
Tabla 3. Porcentaje de lecturas obtenidas en los análisis de interferencia con dos lectores no sincronizados. ....	55
Tabla 4. Comparación de los resultados medidos. ....	56
Tabla 5. Análisis de sensibilidad de antenas lectoras.....	57
Tabla 6. Análisis de ubicación de etiqueta.....	75
Tabla 7. Estante inteligente – evaluación de capacidad de almacenamiento y velocidad de lectura.....	76
Tabla 8. Punto de venta – Distancia separación entre <i>tag</i> y antena lectora. ....	77
Tabla 9. Punto de venta – evaluación de material absorbente. ....	78
Tabla 10. Túnel interrogador – evaluación de velocidad de lectura.....	79
Tabla 11. Tiempos registrados usando los tres métodos de captura de información. ....	98
Tabla 12. Resumen de costos en toma de inventarios en la operación actual. ....	99
Tabla 13. Resumen de costos en toma de inventarios con Código de Barras.....	100
Tabla 14. Resumen de costos en toma de inventarios con RFID.....	102

Tabla 15. Resumen de los costos en toma de inventarios para los diferentes escenarios .....	102
Tabla 16. Proyección de los costos de la operación con las diferentes metodologías. ....	103
Tabla 17. Resumen de la inversión inicial Código de Barras .....	104
Tabla 18. Resumen de la inversión inicial RFID. ....	105
Tabla 19. Beneficios anuales esperados con las dos tecnologías .....	106
Tabla 20. Resumen Costos y beneficios entre las dos tecnologías .....	108

## RESUMEN

TÍTULO: Evaluación de la tecnología de identificación por radiofrecuencia como herramienta de mejora de procesos logísticos<sup>1</sup>

AUTOR: Efrén Darío Acevedo Cárdenas<sup>2</sup>

PALABRAS CLÁVE: cadena de suministro, identificación por radiofrecuencia, procesos logísticos.

Se presenta una herramienta metodológica que permita analizar los principales retos técnicos en la implementación de sistemas RFID en escenarios industriales, soportado en la herramienta metodológica se plantean dos escenarios de evaluación: un escenario académico y en un escenario industrial. La herramienta metodológica está sustentada en conceptos técnico-científicos relacionados con la propagación de ondas electromagnéticas en espacios abiertos y se resume como guía técnica para ser usada en la formulación de proyectos logísticos que usen como base la RFID. El laboratorio de logística de la universidad industrial de Santander, se plantea sobre la necesidad de contar con un escenario académico capaz de afrontar el crecimiento tecnológico sobre el que está viviendo nuestra sociedad; es un escenario dotado con instrumentos claves para soportar distintos retos logísticos dentro de la cadena de suministro. El laboratorio, es un escenario que busca acercar la industria santandereana a la academia, cuenta con un espacio para ofrecer capacitaciones técnicas y logísticas relacionadas con la RFID. Finalmente, se muestra el proceso de implementación de un piloto de RFID en un escenario industrial, cuantificando los resultados y demostrando que la tecnología genera valor dentro de la empresa; con capacidad de fortalecimiento de diferentes áreas que no se relacionan directamente con los procesos logísticos del centro de distribución.

---

<sup>1</sup> Trabajo de investigación

<sup>2</sup>Facultad de ingenierías físico mecánicas. Escuela de ingenierías eléctrica, electrónica y de telecomunicaciones. Director: Javier Eduardo Arias Osorio. M.A. Codirector: José de Jesús Rugeles Uribe, MIE.

## ABSTRACT

TITLE: Radiofrequency technology evaluation as a tool to improve logistics processes as a tool of logistics process<sup>1</sup>

AUTHOR: Efrén Darío Acevedo Cárdenas

KEYWORDS: Supply chain, radiofrequency identification, logistics process.

It presents a methodological tool that allows the analysis of the main technical challenges for the RFID systems implementation in industrial scenarios, supported by the methodological tool we have developed two evaluation scenarios: an academic scenario and an industrial scenario. The methodological tool is based on technical-scientific concepts related to the propagation of electromagnetic waves in open spaces and is summarized as a technical guide to be used in the formulation of RFID-based logistics projects. The logistics laboratory of the Industrial University of Santander arises on the need to have an academic scenario capable of facing the technological growth on which our society is living. This is a scenario endowed with key instruments to support different logistics challenges within the supply chain. The laboratory is a scenario that seeks to bring the Santander industry closer to academia, has a space to offer technical and logistical training related to RFID. Finally, it shows the process of implementing an RFID pilot in an industrial scenario, quantifying the results and demonstrating that the technology generates value within the company. With the capacity to strengthen different areas that are not directly related to the logistics processes of the distribution center.

---

<sup>1</sup> Research Work

<sup>2</sup> Physical Faculty of mechanical engineering school of electrical, electronics and telecommunications  
Director: Javier Eduardo Arias Osorio. M.A. Codirector: José de Jesús Rugeles Uribe, MIE.

## INTRODUCCIÓN

El propósito de evaluar la tecnología de identificación por radiofrecuencia (RFID) como herramienta de mejora de escenarios logísticos se fundamenta en la necesidad de establecer estrategias para el incremento de la competitividad y productividad en las empresas colombianas. El cambiante mundo de la logística de la cadena de suministro y la constante evolución de las herramientas tecnológicas, soportan la necesidad de estudiar la mejora de procesos logísticos y la gestión de la información en tiempo real de los eslabones de la cadena de valor.

Por otro lado, el constante cambio en la dinámica de los mercados nacionales, representado principalmente por los tratados de libre comercio de los últimos años, ha obligado a las empresas colombianas a considerar la necesidad de modernizar sus procesos. Además, el gobierno ha establecido a través del departamento Nacional de Planeación y del Consejo Nacional de Política Económica y Social la Política Nacional de Competitividad y Productividad (COMPES 3527) y establece diversas estrategias como el desarrollo del sistema logístico Nacional en la “Política Nacional Logística” (COMPES 3547), la “Política Nacional para la transformación productiva y la promoción de las micro, pequeñas y medianas empresas: un esfuerzo público-privado” (COMPES 3484) y una “Política Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación” (COMPES 3582).

El propósito de la presente investigación está soportado en el análisis del valor estratégico de la RFID en la gestión de la cadena de suministro que se resume en: la reducción de hurtos de productos, la gestión ágil de órdenes y pedidos, la exactitud de la información, la agilidad en la comunicación entre los eslabones de la cadena de suministro, entre otros beneficios secundarios (Tajima, 2007). Por otra parte, el objetivo de describir los retos técnicos en la implementación de sistemas RFID y el análisis de los beneficios sobre el escenario donde se implementa.

La RFID surge durante la segunda guerra mundial, en la cual se empezó a desarrollar la tecnología del *tag*, que inicialmente fue llamada: "*Friend Or Foe*", creada por los ingleses para ubicar en los radares los acercamientos de los aviones e identificarlos como amigos o enemigos; utilizando un equipo en cual los aliados emitían señales codificadas que permitían saber a los ingleses cuando un avión era aliado o si regresaba de una misión acercándose a la base, convirtiéndose en el primer dispositivo de RFID pasivo. Al finalizar la segunda guerra mundial Harry Stockman publicó en Octubre de 1948 el resultado de su trabajo, lo que ha sido considerado como la primera publicación acerca del nacimiento del RFID (Stockman, 1948).

La revolución tecnológica se ha apoyado en el desarrollo de la electrónica y las redes de comunicaciones, la RFID ha pasado de ideas simples a aplicaciones capaces de cambiar el concepto de gestión logística. El nacimiento de la vigilancia electrónica en los principios de los años sesenta es quizá el génesis de la inclusión de la tecnología en procesos logísticos, mostrando una manera simple y de bajo costo en los sistema de control de pérdidas de productos (Landt, 2005), conservándose la misma idea en la gestión logística de la cadena de suministro hasta nuestros tiempos.

Actualmente, el sumario de posibilidades relacionadas los sistemas de lectura RFID están contruidos sobre la combinación de ideas ya desarrolladas y su objetivo siempre ha sido generar visibilidad en tiempo real de cada uno de los productos etiquetados. La mezcla de diferentes tipos de lectores ha sido una de las ideas más exploradas, abriendo la puerta a un conjunto de ideas innovadoras que benefician la trazabilidad de los productos (combinación entre lectores móviles, compuertas de verificación y lectores de área) (Vaidya & Das, 2008).

Los principales objetivos de RFID dentro de la cadena de suministro son: entregar el producto correcto, enviarlo al lugar pertinente, en el momento indicado y en la

cantidad exacta. La tecnología RFID se presenta como una herramienta de captura ágil de información con un amplio potencial en la mitigación de estos desafíos. La captura ágil de información de productos es base fundamental en la gestión de la cadena de suministro que permite mejorar la relación entre clientes y proveedores en cada uno de los eslabones de la cadena de suministro a través de la definición de un marco estratégico estandarizado soportado en una infraestructura TI que permite la administración de los recursos, la planeación del abastecimiento, la planeación de la demanda, la gestión de inventarios, comercio electrónico, entre otros elementos de valor (Li, Yang, Sun, & Sohal, 2009)(Hua, Ke, & Jian, 2010).

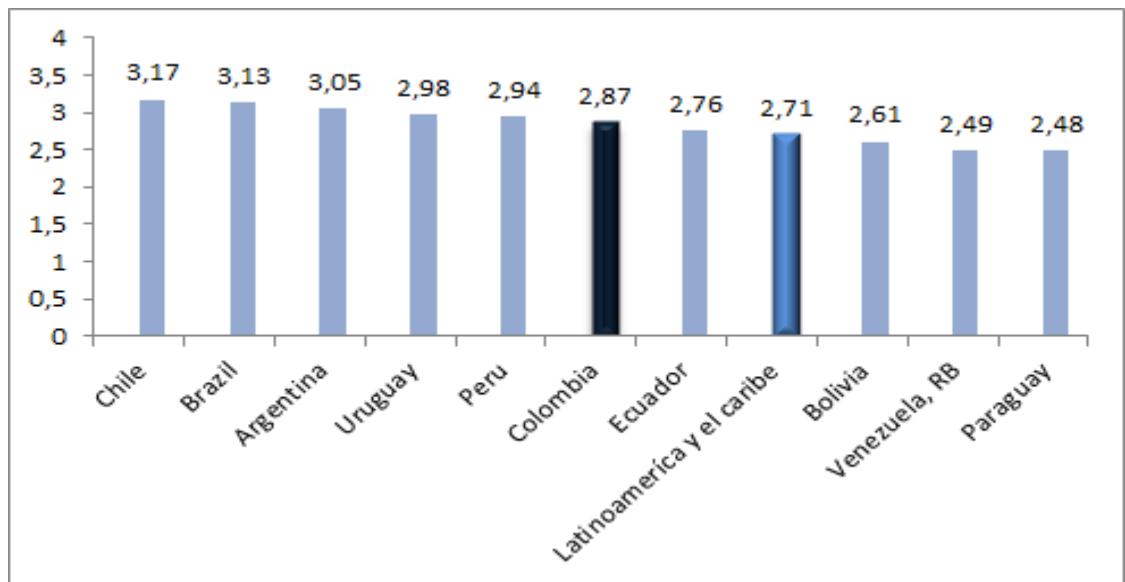
El Índice de Desempeño Logístico (*Logistics Performance Index – LPI*) del Banco Mundial, agrupa una serie de indicadores cualitativos y cuantitativos de la logística interna y el desempeño de la cadena de suministro de cada país; evaluando seis factores que inciden sobre el comportamiento de la logística de comercio exterior: 1) eficiencia de los procesos de exportación, 2) calidad de la infraestructura logística (puertos, carreteras, vías férreas y tecnologías de información), 3) precios competitivos de los envíos, 4) competitividad y calidad de los servicios logísticos, 5) servicios de trazabilidad logística y 6) la puntualidad en la entrega de pedidos.

Para el año 2012, según el Banco Mundial el desempeño logístico colombiano se encuentra en uno de los mejores momentos de los últimos años superando el promedio para Latinoamérica y el caribe y ubicándose en el sexto lugar en Suramérica, pero existen factores claves que deben mejorar para convertir a Colombia en un referente regional en gestión logística (Ver Figura 1).

La evolución histórica del LPI de Colombia hasta el año 2012 ha progresado positivamente, pasando en el ranking mundial del puesto 82 en el 2007 al puesto 64 en el 2012 (ver Figura 2). Al desglosar los indicadores de desempeño las acciones de mejoramiento logístico colombiano deben enfocarse en el mejoramiento de la infraestructura logística, la competitividad y la trazabilidad de los envíos sin

desconocer los demás indicadores para equilibrar los factores que definen el desempeño logístico a nivel mundial. El mejoramiento logístico para Colombia, se debe soportar en las reformas de manejo de información logística de las empresas, que impacta directamente sobre la optimización de la cadena de suministro a nivel nacional.

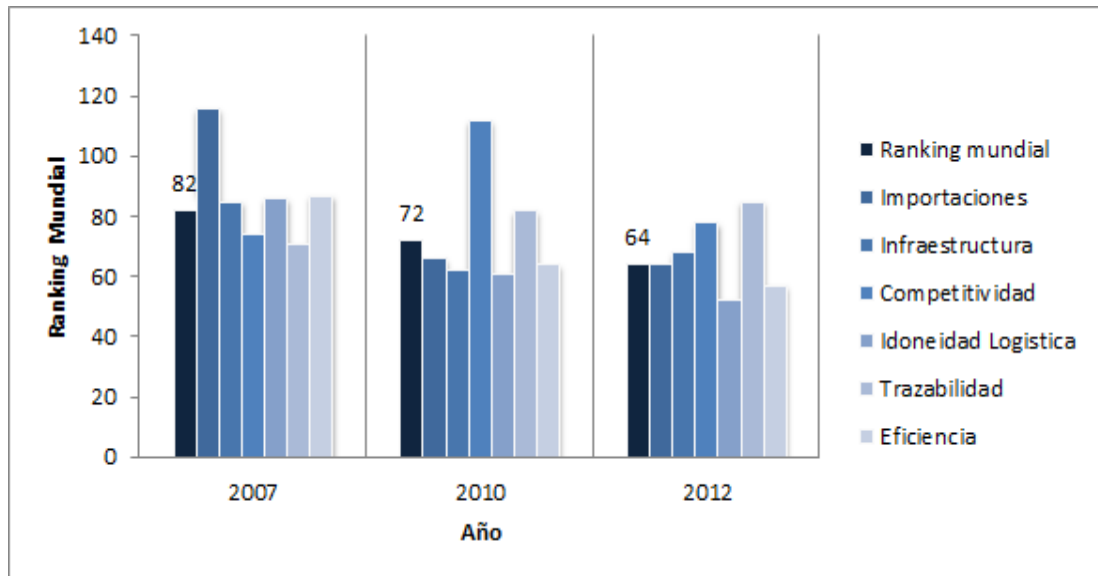
**Figura 1. LPI Colombia en Latinoamérica y el caribe 2012**



Fuente: Autor (datos tomados de: <https://lpi.worldbank.org>)

Teniendo en cuenta los factores que inciden de forma negativa para el desempeño logístico colombiano, se deben plantear acciones orientadas al mejoramiento de procesos de control de transporte de mercancía, infraestructura logística y la capacidad de las empresas en manejo eficiente de la logística interna.

**Figura 2. Evolución del LPI para Colombia 2007 -2012**



Fuente: Autor (datos tomados de: <https://lpi.worldbank.org>)

Según los indicadores del Banco Mundial entre el año 2007 y 2016, en Colombia urge un cambio sistemático de las políticas nacionales en el sector logístico que involucre la integración de la cadena de suministro y la inclusión de las TIC como eje articulador de los servicios logísticos de trazabilidad, aprovechamiento de almacenamiento y la planificación de órdenes, pedidos y la gestión de inventarios; tomando como base la necesidad de tener visibilidad en los procesos soportada en el flujo de información en tiempo real.

Organizaciones como ISO y EPCglobal han centrado esfuerzos en ampliar el uso de la tecnología RFID a lo largo de la cadena de suministro global, soportados en un conjunto de normativas estandarizadas. La primera parte de estos esfuerzos se centra en los estándares internacionales que permitan la interoperabilidad entre

países, seguido por la reducción de costos de intercambio de información y la facilidad de ampliar el mercado global de la tecnología (Korkmaz & Ustundag, 2007).

La arquitectura EPCglobal no define la arquitectura sistémica que los usuarios deben utilizar, ni declara componentes particulares de software que debe implementar. Esta arquitectura define las interfaces de los componentes que deben implementar el usuario, evitando la rigidez en las especificaciones de los componentes para entregar al usuario la libertad en el diseño de su propia arquitectura de acuerdo con las preferencias y metas planteadas (Felice et al., 2007).

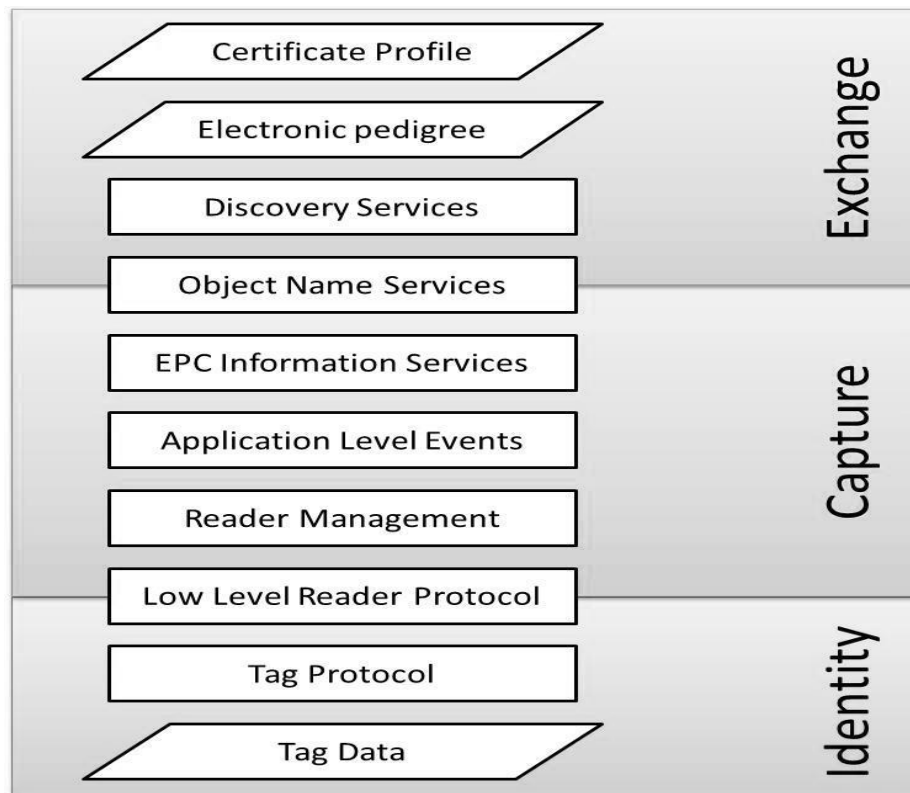
Los principales objetivos de la arquitectura propuesta por EPCglobal para el fortalecimiento de la cadena de suministro son: facilitar el intercambio de información y de productos, fomentar un mercado competitivo entre los colaboradores e incentivar la innovación tecnológica (Felice et al., 2007). Como base fundamental, esta arquitectura ha sido planteada para:

- Enumerar con detalle y describir la relación de cada uno de los componentes de hardware, software y estándares de datos de la red EPCglobal.
- Definir los servicios de la arquitectura para proveer servicios comunes en todos los usuarios.
- Explicar los principios fundamentales para el diseño de estándares individuales y componentes dentro de la red EPCglobal; unificando así, todos los elementos dentro de la red.
- Proveer una guía arquitectural a los usuarios finales y fabricantes de tecnología RFID, para definir el papel de cada elemento.

El Código Electrónico de Producto (EPC) es la base de la tecnología RFID-pasiva, proporcionando individualización para cada elemento a identificar; este código es similar al Código Universal de Producto (UPC) utilizado en la identificación por

código de barras para la cadena de suministro. Por otro lado, la estructura del EPC está constituida por una cabecera (identifica la longitud, tipo y estructura del estándar específico), un número de administración (identifica la empresa), el identificador de producto (identifica el tipo de producto) y el número serial (permite la identificación única del producto); este último campo permite añadir más información permitiendo la trazabilidad del producto. En resumen, el EPC es un esquema diseñado para adaptar los esquemas de codificación utilizados en la cadena de suministro y definir nuevos esquemas y mejores estrategias en logística (Aire, 2012).

**Figura 3. Resumen de la arquitectura EPCglobal**



Fuente: autor [tomado de (Felice et al., 2007)]

En la Figura 3, se presenta la arquitectura propuesta por EPCglobal, como estructura flexible que permite la interrelación entre el hardware y software, es decir, no en todos los escenarios se hace necesario el uso de la arquitectura completa o con la estructura descrita.

El objetivo principal de ISO para RFID es estandarizar los parámetros que definen la interfaz de aire o interfaz de comunicación; limitándose a la transferencia e intercambio de información entre un sistema de lectura y un objeto a identificar (Erick C., Jones; Christopher A., 2007). Estas definiciones, garantizan la propagación de señales utilizadas en la RFID ante la coexistencia con sistemas de radio (radiocomunicaciones móviles, marinas y aeronáuticas), restringe significativamente el rango de operación de frecuencias disponibles para los sistemas RFID en cada país; sólo es posible utilizar los rangos de frecuencia que se han reservado especialmente para la operación Industrial, Científica y Médica (ISM) (Aire, 2012), (Erick C., Jones; Christopher A., 2007).

La ISO 18000 define la interfaz para la comunicación inalámbrica para RFID descrita en las siguientes partes según la operación:

- Parte 1: interfaz de comunicación inalámbrica para las frecuencias globalmente aceptadas.
- Parte 2: interfaz de comunicación inalámbrica para frecuencias cercanas a 135 kHz.
- Parte 3: interfaz de comunicación inalámbrica a 13.56 MHz.
- Parte 4: interfaz de comunicación inalámbrica a 2.45 GHz.
- Parte 5: interfaz de comunicación inalámbrica a 5.8 GHz.
- Parte 6: interfaz de comunicación inalámbrica a 860-930 MHz.
- Parte 7: interfaz de comunicación inalámbrica a 433.92 MHz.

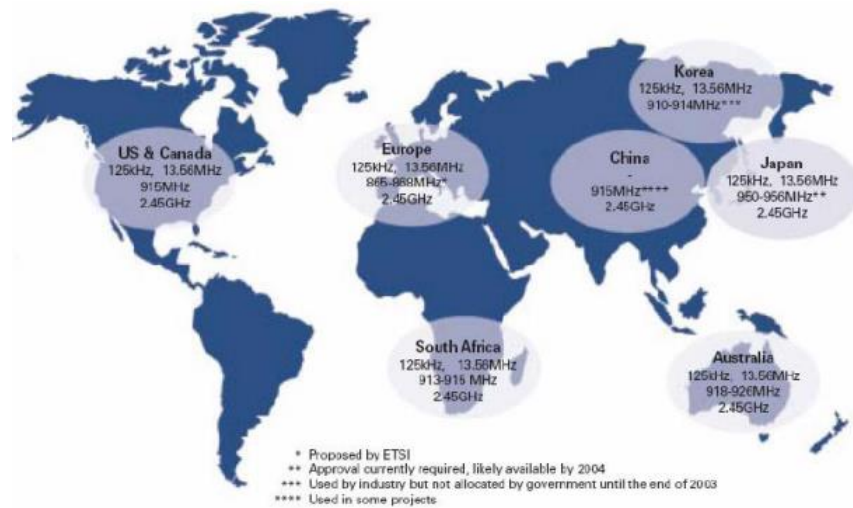
El objetivo del estándar ISO 18000-1 parte 1 es describir la arquitectura de referencia para RFID en la identificación de productos y establecer parámetros que determinan el estándar global para cualquier interface de comunicación inalámbrica bajo la serie ISO 18000. Las partes adicionales del estándar, proporcionan valores específicos para la frecuencia de operación en particular (Erick C., Jones; Christopher A., 2007).

Existen diferentes organismos nacionales que intervienen en el desarrollo y la definición de las tecnologías RFID-UHF (860-930 MHz), entre las cuales y en orden de importancia se encuentra (Craig, 2014):

- 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.
- Japan: 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 las tecnologías de información y telecomunicaciones- MINTIC.

Sin embargo, entre los parámetros comunes se pueden agrupar en tres grandes regiones para el control de emisiones no esenciales y prevenir interferencias con otros equipos industriales, científicos y médicos (ISM).

Figura 4. Frecuencias usadas a nivel mundial.



**Fuente: Tomada de (Craig, 2014).**

- Región 1: Europa, CEPT
  - Para UHF se aplica ERC REC 70-73
  - Banda UHF asignada 865 - 868 MHz
  - La potencia isotrópica radiada efectiva está limitada a 2W o 33 dBm
  - Los lectores deben operar con ciclos de trabajo del 10 %, sin saltos de frecuencia.
- Región 2: EEUU, FCC (Federal Communications Commission)
  - Para UHF se aplica FCC – Parte 15 (15.249)
  - Banda UHF asignada 902 - 928 MHz
  - Máxima potencia isotrópica radiada efectiva es de 4W o 36 dBm utilizando saltos de frecuencia.
- 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

### **1.1. DESAFÍOS TÉCNICOS EN LA IMPLEMENTACIÓN DE RFID.**

Dentro de los retos en la implementación de sistemas RFID, se encuentra un conjunto de desafíos que han obstruido la evolución esperada de a principios de 2003 cuando se lanzó oficialmente RFID como herramienta para la gestión de la cadena de suministro. Entre los principales desafíos, los desafíos técnicos han sido objeto de estudio y se ha evidenciado que de modo indiscutible los desafíos técnicos están relacionados con el índice de adopción mundial de la tecnología RFID.

**1.1.1. Tag RFID – Pasivo.** Los tag pasivos RFID no poseen baterías para la transmisión y recepción de información; la energía utilizada para estos procesos se toma de la señal transmitida por el lector. Debido al consumo energético, las distancias de lectura son cortas

- Un circuito integrado, encargado del control de la identificación del objeto y la comunicación con el lector. También se encarga del control de potencia, la demodulación, modulación de señales e implementación de los protocolos de comunicación.
- Antena, está conectada directamente con el circuito integrado. La comunicación y transferencia de energía se realiza a través de ella.
- Sustrato, es el escenario sobre el cual se unifica la antena con el circuito integrado. Normalmente, los sustratos son delgados, flexibles y con posibilidad de funcionar en diferentes ambientes.
- Encapsulado o protección del *tag*. Se construye dependiendo de la aplicación, el caso más simple se conoce como *Inlay* que es una débil lamina plástica con adhesivo. El caso común, es conocido como *Smart Label* que se utiliza el *Inlay* adherido a un papel que contiene la información impresa del producto identificado. El caso especial para trabajo en ambientes difíciles o

en casos donde el *tag* requiera de reutilización, el *tag* es encapsulado en materiales aislantes para incrementar el ciclo útil.

Las antenas de los *tag*, son antenas de alimentación central empleadas para transmitir o recibir ondas de radiofrecuencia. Sus características de funcionamiento pueden afectarse en función de su forma, disposición, acoplamiento y composición de las mismas.

Según su forma se puede clasificar como:

- Serpenteadas: representan el aumento de la resistencia de radiación tanto para las ondas electromagnéticas generadas como las recibidas.
- Antenas plegadas: Son antenas con alta resistencia de radiación y se utilizan comúnmente para lecturas de campo cercano.
- Punta de carga: Las antenas que poseen una estructura amplificada en sus puntas, permiten reducir el tamaño e incrementar la capacitancia para mejorar el acoplamiento inductivo. La capacitancia es proporcional al perímetro de la punta, a medida que aumenta mejora la eficiencia.
- Antenas gruesas: Las antenas que utilizan elementos más gruesos tienen mayor ancho de banda y mayor capacitancia, permitiendo la mayor eficiencia en lecturas de campo lejano.

La lectura de un *tag* puede verse afectada por la forma en que el campo eléctrico enviado por la antena de un lector (polarización de la onda transmitida por la antena lectora). El campo eléctrico es quien genera la corriente necesaria en el conductor para el funcionamiento de la *tag*; la energía necesaria para establecer comunicación incide en la orientación correcta (Paralela) con la superficie del *tag* lo que significa que no siempre será leído. Generalmente la polarización de las antenas del *tag* es lineal, aunque se ha desarrollado la topología de doble dipolo que hace una similitud

a la polarización circular; obteniendo con esto la lectura en distintas orientaciones(Bueno, 2010).

Por otra parte, la sección transversal de radar (“*Radar Scattering Cross-Section*” RCS) se define como el rango de potencia radiado por el *tag* en función de la densidad de potencia dispersada hacia la antena lectora. La RCS es un parámetro importante que determina el desempeño del *tag* cuando la distancia de comunicación es dependiente de la calidad de la señal emitida por el *tag*(Pouzin et al., 2009).

Según el caso de uso y los beneficios de la implementación se define el criterio de selección del *tag* RFID; en términos generales, *tag* se limita por el costo, tamaño y desempeño. Afortunadamente los avances tecnológicos en el diseño y los nuevos materiales con que se construyen, han establecido soluciones que balancean la figura de mérito los tres principales requerimientos de acuerdo con la aplicación.

El tamaño del *tag* se define en relación con la respuesta de los materiales a la radiofrecuencia y la geometría del producto. La geometría y el tamaño del *tag* se relacionan con el rango de lectura que se logra, que en algunos casos de implementación no es problema. Los *tag* más comerciales se ajustan a las dimensiones de las etiquetas utilizadas históricamente en la cadena de suministro para la identificación de pallet y cajas de embalaje de productos (4X2 pulgadas); son un balance perfecto entre sensibilidad, costo y desempeño.

**1.1.2. Lector.** Dentro de los principales desafíos para la adquisición ágil de la información proveniente de los *tag*, se encuentra la interferencia causada por lectores contiguos al área de lectura de un determinado lector y los diferentes protocolos anticolidión.

**1.1.2.1. Interferencia entre lectores.** La interferencia entre lectores sucede cuando la señal generada por un lector interfiere con el sistema de recepción de

otro lector, degradando la respuesta del *tag*. Antes de plantear los escenarios de análisis, se define dos fenómenos existentes para lo que se ha denominado interferencia entre lectores: interferencia que ocurre cuando un *tag* se localiza en la intersección de dos rangos de interrogación de lectores y la interferencia ocasionada cuando la señal de un lector alcanza el rango de lectura de un lector [14,15].

Diversos estudios involucran modelos estadísticos para determinar el máximo número de lectores permitidos en el área concluyendo que se puede situar entre 38 y 304 lectores dentro una área cumpliendo con indicaciones mínimas de separación (Kim, Yoon, Jang, & Yook, 2009), por otra parte, recientes publicaciones han presentado herramientas software que permiten analizar el problema de interferencia entre lectores en escenarios reales (Ferrero, Gandino, Montrucchio, & Rebaudengo, 2015).

**1.1.2.2. Protocolos anticolidión.** Una de las partes más importantes de los estándares es la definición de los protocolos anticolidión. Estos protocolos son utilizados cuando se encuentran varios *tag* en el área de interrogación del lector o cuando un *tag* se encuentra bajo el área de interrogación de varios lectores; Los algoritmos anticolidión mejoran las lecturas evitando los fenómenos como: las lecturas fantasmas, la redundancia en lecturas, entre otros.

El *Low Level Reader Protocol* (LLRP) proporciona los medios necesarios para realizar la comunicación entre el lector RFID los *tag* electrónicos en tareas de lectura, escritura y ejecución de otros comandos de entrada. Además, proporciona los parámetros para registrar informar el estado de la comunicación, manejo de errores durante el proceso de comunicación con los *tag*. En lo que refiere al manejo del espectro, el LLRP proporciona las variables que regulan los enlaces lector-*tag* y *tag*-lector en torno a los niveles de potencia requeridos, uso espectral y control de interferencia. Quizá la tarea más importante de LLRP es el control de la operación del *tag* a través de los parámetros del protocolo de comunicación y las técnicas

anticolisión. Entre la interfaz del cliente y el lector se ajustan los protocolos de procesado de datos, administración de dispositivo de lectura y la coordinación y control de los dispositivos de lectura; este último con el propósito de evitar interferencia entre dispositivos de lectura RFID. Por otra parte, la interfaz de comunicación entre el lector y el *tag*, el protocolo controla la capa de comunicación, los procedimientos y comandos de operación tanto del *tag* como del lector y los esquemas anticolisión (Standard, 2010).

Las formas de onda generadas por el lector están definidas como modos de lectura dentro de las que podemos definir en términos del tipo de modulación, la tasa de transmisión, entre otros (K. Y. Jeon & Cho, 2009):

- El modo MaxMiller: está definido por una relación de división de 64/3, la modulación en banda base usando Miller ( $M=4$ ) y modulación analógica de PR-ASK. De igual forma está definido por una tasa de transmisión de 640 kbps entre *tag* y el lector RFID, el tiempo de duración de un bit '0' es de 7140 nanosegundos y una relación de duración entre un bit '0' y un bit '1' de 1.5. Es un modo de lectura que se plantea para operar bajo condiciones de interferencia intermedias y con una velocidad de transmisión baja.
- El modo MaxThroughout: está definido por una relación de división de 64/3, la modulación en banda base usando FM0 y modulación analógica de DSB-ASK. De igual forma está definido por una tasa de transmisión de 640 kbps entre *tag* y el lector RFID, el tiempo de duración de un bit '0' es de 6250 nanosegundos y una relación de duración entre un bit '0' y un bit '1' de 1.5. Es un modo de lectura que se plantea para operar bajo ninguna condiciones de interferencia y con una velocidad de transmisión alta.
- El modo HYBRID: está definido por una relación de división de 64/3, la modulación en banda base usando Miller ( $M=2$ ) y modulación analógica de DSB-ASK. De igual forma está definido por una tasa de transmisión de 640 kbps entre *tag* y el lector RFID, el tiempo de duración de un bit '0' es de 6250

nanosegundos y una relación de duración entre un bit '0' y un bit '1' de 1.5. Es un modo de lectura que se plantea para operar bajo escasas condiciones de interferencia y con una velocidad de transmisión aceptable.

El estándar EPCglobal Gen 2, define el protocolo *Query Tree* como el estándar anticolidión de referencia: El protocolo consiste en enviar un prefijo de lectura y esperar la respuesta de los *tag*. Cuando los *tag* responden, se envía un siguiente prefijo con la identificación de cada uno de los *tag* detectados, a medida que cada *tag* es identificado, se va silenciando y se procede a leer la información del siguiente; mejorando con esto los tiempos de lectura y evitando la redundancia de información (Karmakar, 2010).

**1.1.3. Antena de lectura.** La antena de lectura juega un papel importante dentro del sistema debido a que una buena selección y un posterior control de las antenas lectoras pueden asegurar el éxito inmediato de la implementación de los proyectos relacionados con RFID. La robustez en relación con la posición y orientación entre la antena lectora y el *tag*, involucra aspectos técnicos de polarización e isotropía de las antenas; gran parte de los lectores utilizan antenas de polarización circular para evitar la sensibilidad en relación de la orientación de los *tag*. En términos generales, las antenas de polarización circular son antenas isotrópicas (no presentan áreas de lectura nula) y el vector de campo eléctrico es igual en todas las direcciones espaciales.

Estudios demuestran que la eficiencia de lectura entre una antena de polarización circular versus una antena de polarización lineal es de 17.9%; este factor está relacionada con las isotropía de las antenas polarizadas circularmente (García et al., 2012).

**1.1.4. Producto.** El tópico más influyente que ha limitado el impulso de la tecnología RFID a lo largo de su historia se le atribuye al material etiquetado; el

comportamiento de las señales electromagnéticas varía de acuerdo al material por donde se propague. Por tal motivo, no todas los *TAG* y no todos los lectores pueden suplir las necesidades de cada uno de los componentes de la cadena de suministro. Siendo uno de los retos de las empresas encargadas de la implementación de las soluciones RFID lograr el punto de equilibrio entre la selección del *TAG* y el dispositivo de lectura con que se obtiene la información contenida en cada uno de ellos.

**1.1.4.1. Etiquetado de material conductor.** Los materiales conductores (todo tipo de estructuras metálicas) reflejan las ondas electromagnéticas hacia la fuente con una fase de negativa, es decir, las ondas se cancelan. Para el caso del etiquetado de materiales conductores se debe considerar el uso de *tag* embebidos en un material aislante que mitigue los efectos de la reflexión de las ondas y se logre el acoplamiento inductivo o capacitivo según el tipo de *tag*.

**1.1.4.2. Etiquetado de material absorbente.** Los materiales absorbentes (la mayoría de líquidos) toman gran parte de la energía de la onda electromagnética, para el caso cuando el volumen del líquido es pequeño y la energía radiada por la antena es alta, se logra establecer comunicación entre la antena lectora y el *tag*. Para el caso de lectura de materiales absorbentes, se debe considerar antenas de *tag* de acoplamiento inductivo y considerar el diseño de sistemas RFID de corto alcance.

**1.1.4.3. Etiquetado de materiales traslucidos.** Los materiales traslucidos (papel, cartón corrugado, plásticos, telas, entre otros) permiten la transmisión de ondas electromagnéticas a través de este. Ante la presencia de materiales traslucidos el diseño de sistemas RFID adquiere un grado de flexibilidad debido a la baja atenuación de las ondas transmitidas entre el *tag* y el lector.

**1.1.5. Embalaje del producto.** Las principales investigaciones relacionadas con el canal de comunicación RFID, definen una serie de experimentos controlados que relacionan el tipo de productos, la localización de las etiquetas y las distintas fuentes de distorsión en el canal. El objetivo de estos estudios es determinar los diferentes factores que influyen en la tasa de lectura (Arnitz, Muehlmann, & Witrissal, 2012; Azpilicueta et al., 2012; D'Errico, 2012). Para el caso del embalaje de producto, se recomienda el análisis sistemático de la orientación de *tag* con respecto a la antena lectora, según lo reportado en (Huang, Lo, Wang, & Chen, 2008), la tasa de lecturas de *tag* RFID varía de acuerdo al posicionamiento relativo entre la antena lectora y el *tag*; determinando que la dirección del *tag* y de la antena debe ser perpendicular; mostrando los mejores resultados ubicando *tag* en la parte posterior del producto.

El reto de lectura en algunos productos es tal, que se han propuesto la integración de la tecnología RFID con métodos de identificación por imágenes (Prasse et al., 2011); sustentado en la necesidad de automatizar el proceso de desembarque de productos dentro del centro de distribución ya que la tecnología RFID no permite localización exacta cuando el conjunto de productos no es homogéneo.

**1.1.6. Análisis de sitio.** El primer paso es identificar los problemas relacionados con la interferencia electromagnética en el sitio de implementación. Un análisis de sitio puede ayudar a identificar la coexistencia de fuentes RF en la banda de trabajo de RFID ya que nos encontramos en una banda de uso libre, en esta banda de frecuencia podemos encontrar fuentes como:

- Pequeños transmisores inalámbricos de 915 MHz.
- Alarmas inalámbricas.
- Sistema de monitoreo y señales provenientes de radio aficionados.
- Iluminación fluorescente (Technologies, 2010).

Además de analizar la interferencia, el análisis de sitio proporciona las herramientas necesarias para diseñar la arquitectura de red, el número de lectores, el área de cobertura de los lectores, la potencia y la antena a utilizar en el sistema.

El escenario sobre el cual se realiza la comunicación entre la antena lectora y el *tag*, debe cumplir con un conjunto de criterios mínimos que mitiguen la pérdida de información y está relacionado directamente con la cantidad de objetos a identificar, la multitrayectoria de las ondas electromagnéticas causada por objetos contiguos al campo de lectura y la interferencia electromagnética ocasionada por fuentes externas (Bertocco, Chiara, & Sona, 2010).

## **1.2. EQUIPOS SELECCIONADOS**

En búsqueda de obtener resultados de alto impacto en la evaluación de la tecnología RFID, tanto en el laboratorio de logística UIS como en piloto y futuro logístico de COMERTEX S.A. se seleccionan un conjunto de equipos acordes con el escenario. De esta manera., se tiene en cuenta la regulación del espectro radioeléctrico y las reglamentaciones de exposición a radiaciones no ionizantes para Colombia (basado en las recomendaciones para la interfaz de comunicación inalámbrica ISO 18000-6 parte 6).

**1.2.1. Lector fijo – IMPINJ® R420.** La base fundamental de los escenarios logísticos para la cadena de suministro es la construcción de portales virtuales que permitan ejercer control de los productos que ingresan o salen de un centro de distribución; para los escenarios planteados, es importante contar con escenarios de lectura ubicados en posiciones estratégicas conectados con antenas de amplio rango de lectura y características especiales según la aplicación.

Es un equipo compacto que se adapta perfectamente en ambientes industriales con altos niveles de temperatura y polución. Es un dispositivo que permite alimentación

por red de datos (PoE: Power over Ethernet) evitando de esta manera ahorrar costos de instalación de puntos eléctricos cercanos a los portales de lectura.

**Figura 5. Lector fijo. IMPINJ - SPEEDWAY REVOLUTION R420**



Fuente: Autor.

Es un equipo flexible que no posee limitaciones de funcionamiento ya que permite la selección de diferentes modos de lectura representados en protocolos de anticollisión entre lectores y entre etiquetas. Es un equipo con velocidades de lectura hasta de 1100 etiquetas por segundo que permite alta efectividad en la lectura de productos, por otra parte, posee un sistema operativo embebido permite filtrar lecturas para evitar redundancia en la información.

**1.2.2. Antenas de lectura polarización circular - Laird S9028 LHCP/RHCP.** Es una antena de polarización circular, con un ángulo de radiación azimutal y axial de 70 grados, SWR menor a 1.3 y ganancia de 9 dBic.

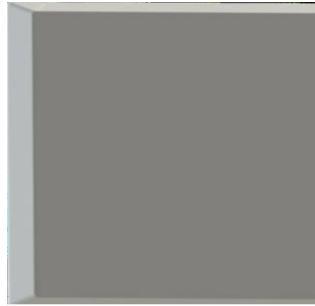
**Figura 6. Antena de polarización Circular- Laird S9028PCL**



Fuente: Autor.

**1.2.3. Antenas de lectura polarización lineal - ARC-PA0913B01.** Antena de polarización lineal, con un ángulo de radiación azimutal y axial de 42 grados. Ideal para implementar en el laboratorio de logística UIS debido características físicas (peso, tamaño, entre otros) ya que permite la adaptación a diversos escenarios logísticos. Esta antena posee un nivel de ganancia de 12.5 dBi, SWR menor a 1.5 y frecuencia de operación entre 902 y 928 MHz; ideal para integrar en sistemas RFID. La principal desventaja de utilizar antenas de polarización lineal son las pérdidas por polarización que pueden llegar a ser infinitas en relación a la orientación de la antena receptora.

**Figura 7. Antena de polarización lineal - ARC-PA0913B01**



Fuente: Autor.

**1.2.4. Lector portable.** Dentro de los objetivos planteados, se identificó que las empresas requieren herramientas que permitan agilizar la captura de inventarios; el instrumento a seleccionar debe ser portable para identificar cada uno de los productos identificados con RFID en cada posición dentro de la bodega o centro de distribución.

**1.2.4.1. Lector portable: ALIEN® ALH9001.** Para el escenario académico se identifican diferentes marcas de lectores RFID portables, pero en cada uno de los casos se identificó la necesidad de contar con un dispositivo con licencias abiertas para evitar sobrecostos en las implementaciones o adaptaciones futuras. El lector móvil ALH-9001 es un equipo del fabricante ALIEN®, diseñado para trabajo en ambientes industriales; protección de ante caídas de alturas no superiores a 1.8 metros y protección ante efectos nocivos por polución ambiental (problemas comunes en las empresas de logística), por otra parte, permite diferentes formas de intercambio de información (WLAN, WPAN, GPRS).

**Figura 8. Lector Portable ALIEN® ALH-9001**



Fuente: Autor.

Es un equipo diseñado para alcanzar lecturas hasta tres metros con un patrón de radiación con elevación axial y azimutal de 70 grados todo esto logrado con su antena linealmente polarizada para evitar pérdidas de polarización en la lectura de etiquetas.

**1.2.4.2. Lector portable Motorola® MC9190 – Z.** Son lectores diseñados para trabajo en ambientes escabrosos; protección de ante caídas de alturas no superiores a 1.8 metros y protección ante efectos nocivos por polución ambiental (problemas comunes en las empresas de logística), por otra parte, permite diferentes formas de intercambio de información (WLAN, WPAN). Es un equipo diseñado para alcanzar lecturas de hasta tres metros con un patrón de radiación con elevación axial y azimutal de 70 grados todo esto logrado con su antena linealmente polarizada para evitar pérdidas de polarización en la lectura de etiquetas. Es un equipo que ofrece portabilidad con un alto rendimiento (procesador de 806 MHz y memoria RAM de 512 MB).

**Figura 9. Lector Portable Motorola MC9190-Z**



Fuente: Autor.

Uno de los puntos sobresalientes en la selección de este dispositivo fue la sugerencia de COMERTEX S.A. que la empresa proveedora de equipos tanto como la marca del mismo tuviese presencia en la región. Al ser un equipo portable, se adapta perfectamente a las necesidades de la bodega donde necesita se llevar a alturas superiores a tres metros con el propósito de capturar información de inventarios.

**1.2.5. Impresora RFID ZEBRA RZ400.** Un elemento no menos importante en la cadena de suministro utilizando la tecnología RFID, es la impresora de etiquetas; ya que desde este instrumento se ingresa cada uno de los productos a la cadena de valor.

Es una impresora de transferencia térmica que permite impresión de mayor durabilidad con respecto a las impresoras de transferencia directa, además, cuenta con una resolución de impresión de hasta 12 puntos por milímetro y velocidad de impresión de hasta cinco pulgadas por segundo. Al ser una impresora veloz se

adapta perfectamente a los requerimientos del centro de distribución donde ingresan hasta unos 2000 rollos de tela diariamente.

**Figura 10. Impresora RFID. ZEBRA RZ400**



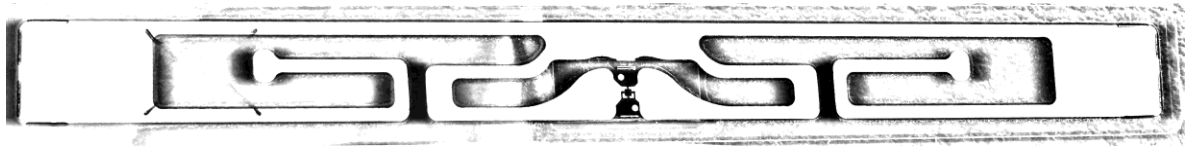
Fuente: Autor.

En el desarrollo del proyecto, se cuenta con dos impresoras ZEBRA RZ-400. Es un equipo industrial de fácil configuración sobre diferentes sistemas operativos (WINDOWS, LINUX, ANDROID), con capacidades de lectoescritura de etiquetas RFID. Habilidadada para soportar ambientes fabriles con altos niveles de polución y temperaturas (hasta 40 °C), su velocidad de impresión permite codificar e imprimir información visual hasta dos etiquetas por segundo.

**1.2.6. Etiqueta RFID pasiva AD-224.** En logística, los *tag* RFID se requieren para desempeñarse ante diferentes materiales y en ambientes con grandes desafíos en sus funcionalidades de radiofrecuencia; los metales causan reflexión de

las ondas electromagnéticas, los líquidos absorben energía y las comunicaciones inalámbricas generan un conjunto de interferencias electromagnéticas.

**Figura 11. Antena de etiqueta RFID pasiva AD-224**



Fuente: Autor

En la selección de *tag* RFID en el sector textil no es un factor relevante debido a que las telas son un material que permite la propagación de las ondas de radio a través de ellas. El reto es considerar las especificaciones para la visualización de la información contenida en *tag* y la capacidad de información electrónica que debe almacenar; de esta forma encontrar un balance entre tamaño y rango de lectura.

Para el desarrollo del proyecto, se elige una etiqueta de papel de 4X2 pulgadas donde debe estar contenida la información del producto (código de barras, referencia, nombre, cantidad de metros de tela, entre otros). Por otra parte, en cuanto a la capacidad de almacenamiento se planteó de acuerdo al número de productos que deben fluir internamente en un transcurso de no más de diez años; un total de cincuenta mil referencias asociadas a un flujo de un millón de productos. Para diferenciar las referencias y el serial asociado, se necesita una memoria de 36 bit para el flujo de productos a diez años. De acuerdo a las capacidades de información y alcance, se selecciona el *tag* AD-224 con una capacidad de memoria

de 96 bits, además, cuenta con una antena de tipo dipolo doblado que permite un rango de lectura hasta de 10 metros.

### **1.3. ANTECEDENTES Y MOTIVACIÓN EN LA INVESTIGACIÓN**

El sector industrial colombiano mantiene un cierto grado de desconfianza en inversiones en tecnología, por lo que el desarrollo de prototipos y pruebas en ambientes industriales permite a los industriales evaluar sus ventajas y analizar su viabilidad desde una óptica tanto técnica como financiera. Lograr que empresas como COMERTEX S.A puedan evaluar la conveniencia de utilizar en sus procesos tecnología de identificación por radiofrecuencia es una de las principales justificaciones para realizar esta investigación.

Además de lo anterior, la experiencia para los grupos de investigación tanto la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones (E3T) como de la Escuela de Estudios Industriales y Empresariales (EIEE) en los campos de análisis de procesos logísticos y de telecomunicaciones, es invaluable. Este proyecto es un paso importante en la consolidación de la investigación aplicada en la región y muestra la importancia y ventajas del modelo Universidad-Empresa-Estado como aporte al desarrollo económico regional.

Partiendo de la necesidad de tener un punto de referencia en relación con el desempeño de RFID en diferentes escenarios logísticos, esto para soportar la expansión de la industria RFID en la región. En el presente trabajo se busca diseñar un *testbed* con diferentes niveles de complejidad que pueda ser extrapolado en múltiples escenarios logísticos de la industria local y plantear una metodología que integre argumentos técnicos para la mejora de sistemas de adquisición de información por RFID.

#### **1.4. CONTRIBUCIONES DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

En este trabajo de investigación se presenta la evaluación de la tecnología de identificación por radiofrecuencia, partiendo de la construcción de una herramienta metodológica de evaluación, continuando con la implementación de un testbed de evaluación de escenarios logísticos, culminando con la implementación de un piloto industrial de RFID en la empresa COMERTEX S.A.

Las principales contribuciones de este trabajo son:

- El desarrollo de una herramienta metodológica de evaluación de la tecnología RFID soportada en los principales desafíos técnicos.
- El diseño e implementación de un testbed de procesos logísticos, representado en los tres principales eslabones de la cadena de suministro.
- El diseño e implementación de un piloto de captura de información en un escenario logístico real.

Este trabajo ha sido elaborado como soporte al cumplimiento de los objetivos del proyecto “Diseño e implementación de mecanismos y herramientas conceptuales y tecnológicas para el mejoramiento del sistema logístico de la empresa COMERTEX S.A”, cofinanciado por Colciencias, ejecutado para la empresa COMERTEX S.A, donde la Universidad Industrial de Santander participa como entidad ejecutora. Convocatoria Colciencias No.502 de 2010. COD. 1102-502-27270 - CT. 727-2011.

#### **1.5. RESUMEN DEL DOCUMENTO**

EL contenido de la tesis se encuentra dividido en cinco capítulos, como se describe a continuación:

Capítulo 1. Se presenta los principales elementos teóricos que fundamentan la investigación.

Capítulo 2. Se presenta una herramienta metodológica de evaluación de la tecnología RFID soportada en los principales desafíos técnicos, sustentada en experimentos que validan la estructura metodológica planteada.

Capítulo 3. Se presenta la descripción de la construcción de un testbed de logística como herramienta de análisis de procesos logísticos de la cadena de suministro.

Capítulo 4. La descripción detallada de la implementación de RFID en un la empresa COMERTEX S.A. junto con la evaluación financiera de la prueba piloto.

Capítulo 5. Se resumen las conclusiones de este trabajo de investigación, así como la propuesta de futuros trabajos de investigación.

## **2. METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN TÉCNICA DE RFID EN ESCENARIOS INDUSTRIALES**

Los servicios de valor agregado que pueden incluirse con el uso de la tecnología RFID, no deben estar orientados hacia organizaciones externas, sino que principalmente deben crear valor dentro de la compañía y deben iniciarse con un profundo análisis soportado directamente en la tecnología RFID para llegar a una solución ajustada a la empresa, además, se debe incluir el análisis técnico para alcanzar la exactitud y velocidad en la lectura, de esta forma asegurar un alto nivel de éxito en la implementación de la tecnología. Los beneficios comúnmente observados con la implementación de RFID están asociados con el nivel de automatización de los procesos logísticos, la agilidad en la captura de información y la transformación de la logística “convertir un inventario ágil en la inteligencia de negocios”.

Como parte de la implementación de la tecnología RFID, se debe incluir un proceso sistemático de inclusión en la transformación de los procesos logísticos, que debe partir de la generación de ideas, la posterior evaluación y la descripción de los servicios proyectados. Luego de la generación de ideas, se considera evaluar de forma sistemática la implementación de la tecnología dentro de la organización:

- ¿Qué tipo de productos debo etiquetar?
- ¿Cómo está embalado el producto?
- ¿Qué tipo de dispositivos debo comprar?
- ¿Cómo está constituido el escenario?

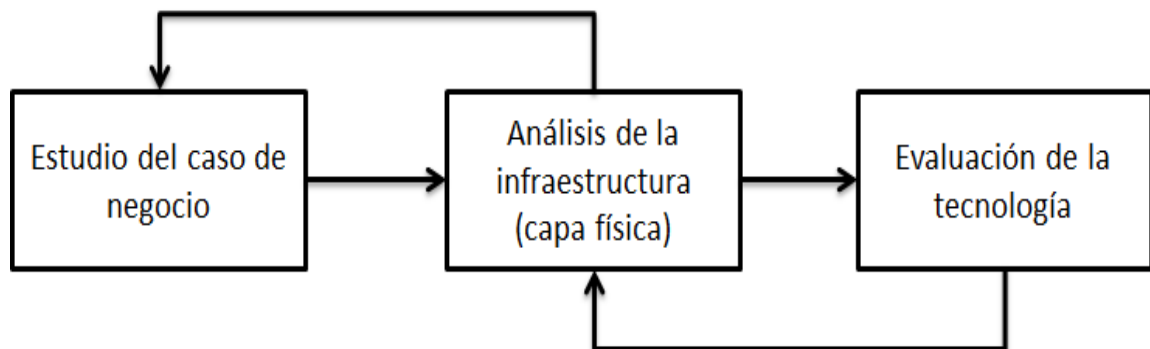
Dando respuesta a los anteriores interrogantes se debe proceder a desarrollar una guía metodológica que permita profundizar y analizar la viabilidad de nuestra propuesta de valor inicial.

Actualmente, existe bajo nivel de penetración de RFID en escenarios industriales a nivel nacional contrastado con el potencial y las posibilidades técnicas; atribuido principalmente a los desafíos técnicos de RFID. Para disminuir la brecha existente entre el nivel de penetración y las posibilidades técnicas se plantea el presente capítulo una herramienta metodológica para evaluar el escenario desde un punto de vista técnico; planteando de esta manera futuros retos asociados a la selección de componentes que se ajusten a las necesidades propias de cada escenario logístico.

## **2.1.METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE LOS DESAFÍOS TÉCNICOS EN LA IMPLEMENTACIÓN DE RFID.**

Existen diferentes estudios que abordan el problema de implementar sistemas RFID desde un modelo de negocios, mostrando una metodología de ajuste sobre las ventajas y desventajas económicas de la implementación de RFID en la cadena de suministro (Hua et al., 2010; Inaba, 2007; Khoo, 2010; Liu, Chen, Yan, Lu, & Wang, 2010; Michael & McCathie, 2005; Tajima, 2007; Yue, Wu, Hao, & Bai, 2011).

**Figura 12. Modelo de implementación de un sistema RFID - Caso de negocios**



Fuente: Tomado de (Lutton et al., 2008).

Para plasmar el objetivo propuesto, la metodología presentada debe abordar los principales retos técnicos en la implementación de RFID, el modelo presentado por (Lutton, Skinner, & Regan, 2008) está constituido por tres pasos que se realimenta entre sí: el estudio del caso de negocio, el análisis de la infraestructura necesaria para la implementación y la evaluación de la tecnología a través de un piloto.

Se ha tomado como punto de referencia el modelo presentado en la Figura 12 profundizando en el sistema central; con el propósito de evaluar los principales retos técnicos en la integración de sistemas RFID.

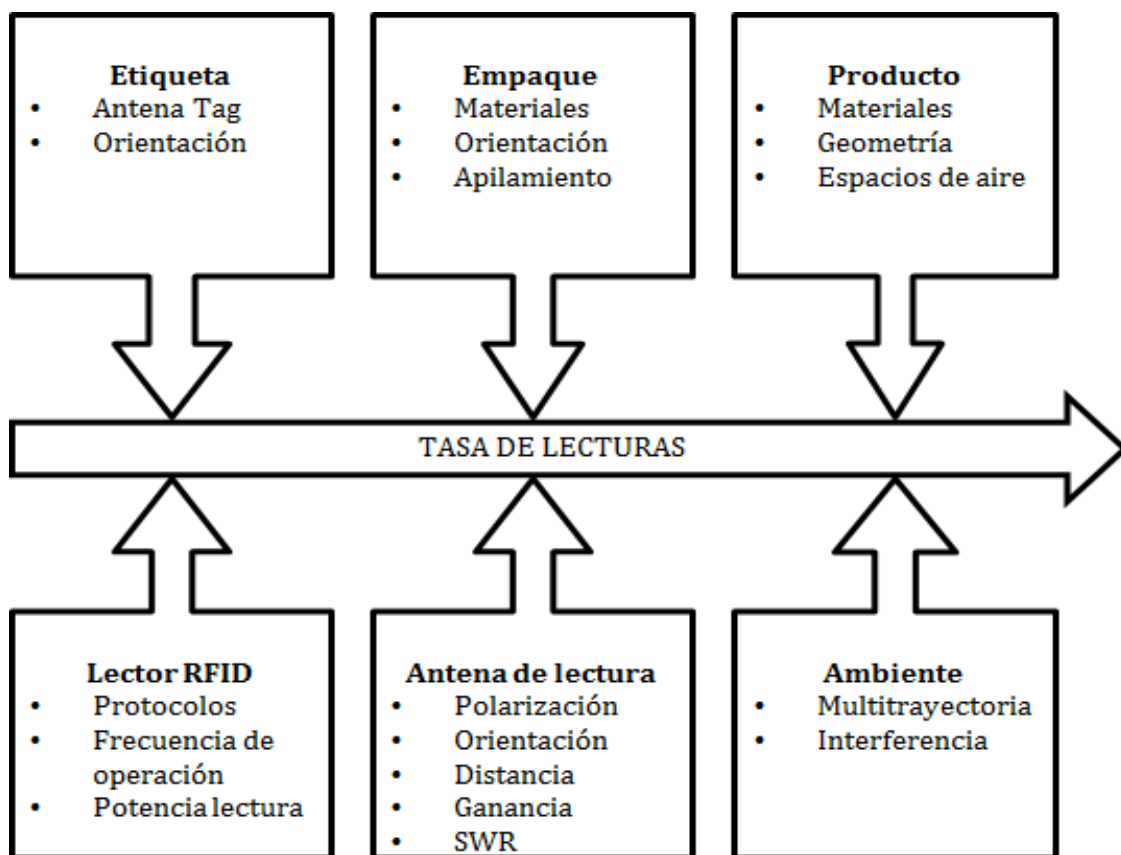
El conjunto de validaciones propuesto para alcanzar un nivel de confiabilidad en la lectura de información utilizando RFID (ver Figura 13), requiere la evaluación completa de cada uno de los parámetros que influyen en la tasa de lectura, sin ser estrictamente desarrollada sistemáticamente.

Como sugerencia al proceso sistemático de evaluación de los retos técnicos en la implementación de sistemas RFID se propone las siguientes etapas:

**Etapas 1:** Definir los equipos de acuerdo con la regulación del país (para el caso de Colombia: trabajar con equipos con frecuencia de operación entre 902-928 MHz) y definir la máxima potencia radiada por el sistema de lectura.

**Etapas 2:** Establecer el tipo de escenario para la lectura de los productos; definir si los productos pasan a través del punto de verificación con la misma posición o con posición aleatoria. Si la posición está definida se debe usar antenas de polarización lineal, de lo contrario, se debe utilizar antenas de lectura con polarización circular. Como parte no menos relevante en la selección de antenas, se debe considerar que la antena no presente un SWR mayor a 1.5 en la banda de operación.

Figura 13. Metodología propuesta



Fuente: Autor.

**Etapa 3:** Identificar las fuentes de emisiones de señales sobre la banda de operación, además, suprimir materiales metálicos de la zona de interrogación.

**Parte 4:** Realizar un análisis exhaustivo con diversos tipos de *tag* que se ajusten a las dimensiones de sus productos. Determine los umbrales mínimos de potencia recibida por el lector y la tasa de transmisión (lectura de *tag* por segundo) que se logra con cada *tag* de forma independiente.

**Etapa 5:** En caso de requerirse el etiquetado del contenedor de los productos, se realiza pruebas de conjunto preferiblemente con filtros de identificación para establecer la tasa de transmisión en relación con la agrupación de los productos.

**Etapa 6:** Constituir el escenario definitivo tomando en cuenta las observaciones pertinentes producto del estudio técnico. Como fruto de este estudio se puede determinar el costo del *tag* que se ajuste al caso y se estructura el presupuesto en el “Estudio del caso de negocio”.

## **2.2. EVALUACIÓN DE LOS DESAFÍOS TÉCNICOS CON LA METODOLOGÍA PROPUESTA**

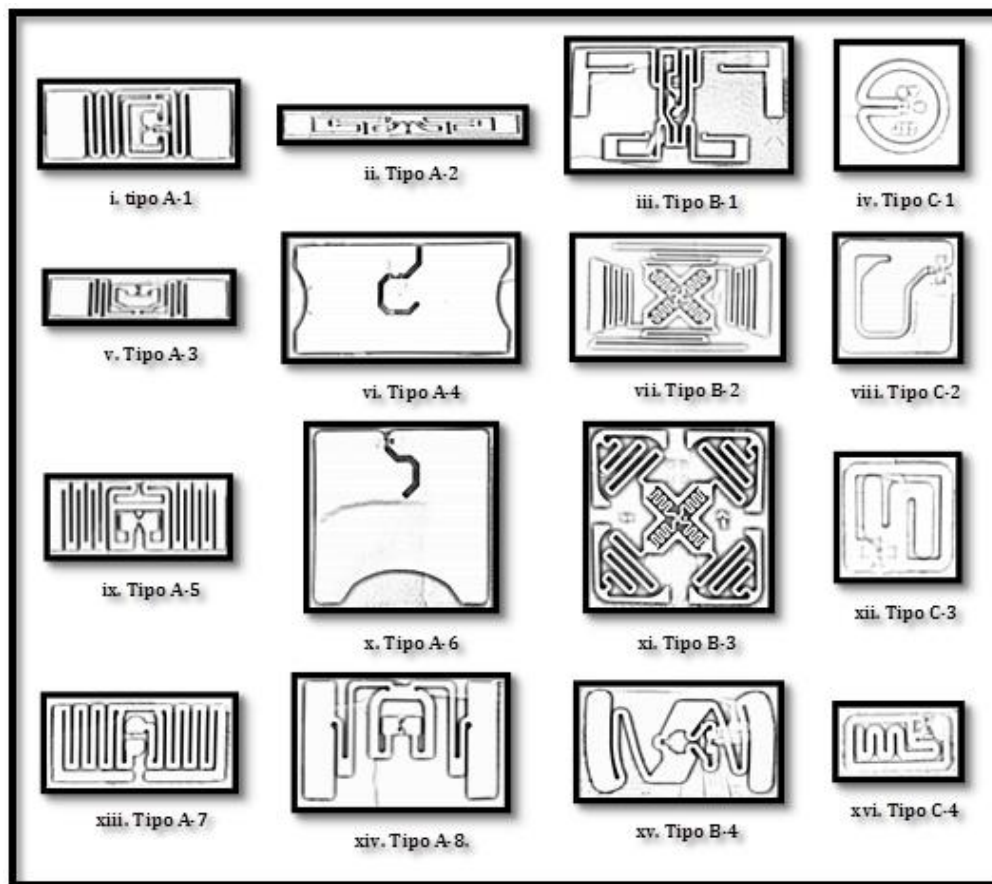
Luego de plantear los principales desafíos técnicos en la implementación de sistema de RFID (ver sección 1.1), se desarrolla un conjunto de experimentos para validarlos y tomar como referencia para estudios en diferentes escenarios logísticos.

**2.2.1. Etiqueta.** Es posible realizar mediciones de las antenas y los circuitos integrados de un *tag* pasivo con un analizador de espectros o un analizador de redes, sin embargo, el rendimiento solo puede medirse cuando se encuentra activa. Una solución a lo mencionado anteriormente, es medir los parámetros de respuesta de las etiquetas cuando se encuentran en funcionamiento, estos parámetros son: la sensibilidad y la potencia mínima con que el lector puede detectar la información enviada por el *tag*.

Para el desarrollo de las pruebas se tomó un grupo de etiquetas de muestras adquiridas con el fabricante *Avery Dennison*. Estas fueron adheridas a cajas de cartón vacías, este tipo de elemento brinda un medio translucido con respecto a la

propagación de las señales emitidas por la antena lectora y la antena del *tag*; esto con el objetivo de obtener una caracterización sobre un medio homogéneo de los diferentes *tag*.

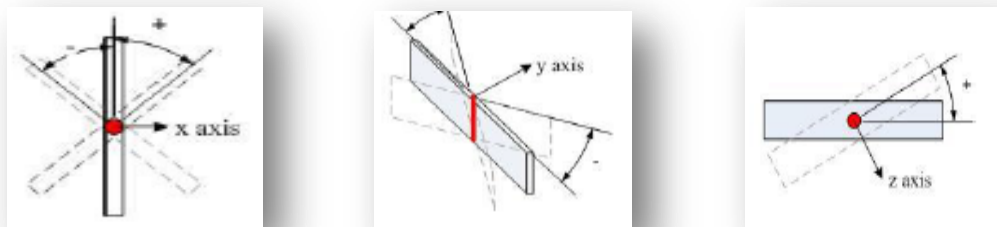
**Figura 14. *Tag* utilizados en la prueba**



Fuente: Autor

Para el análisis se utiliza una antena lectora *Laird S9028PCR* de polarización circular derecha ubicada a una distancia de 70 centímetros con un tiempo de lectura de 15 segundos y potencia de lectura 32.5 dBm donde los *tag* se presentan en diferentes posiciones.

**Figura 15. Rotación de los *tag***



Fuente: Autor

En relación a los resultados obtenidos en términos de potencia promedio recibida y tasa de lectura en cada posición de *tag* se resumen en la Tabla 1. De acuerdo con los resultados planteados se concluye que para el *tag* Tipo A-4 y Tipo A-6 posee la menor sensibilidad ante la rotación con gran desempeño esto debido a su estructura gruesa. Seguido por las de Tipo A-2 (dipolo sencillo), seguidas por las antenas Tipo B-1, Tipo B-2 y Tipo B3 (dipolo doble).

**Tabla 1. Resultados de la evaluación de los ante la presencia de campo lejano**

<b>TAG</b>	<b>Posición 1</b>		<b>Posición 2</b>		<b>Posición 3</b>	
	<i>RSSI</i>	<i>Lecturas</i>	<i>RSSI</i>	<i>Lecturas</i>	<i>RSSI</i>	<i>Lecturas</i>
<b>Tipo A-1</b>	-48	185	-61	48	-63	62
<b>Tipo A-2</b>	-42	204	-56	85	-58	78
<b>Tipo A-3</b>	-49	175	-62	34	-62	43
<b>Tipo A-4</b>	-37	193	-48	112	-51	124
<b>Tipo A-5</b>	-40	173	-58	106	-65	54
<b>Tipo A-6</b>	-45	185	-54	106	-58	117
<b>Tipo A-7</b>	-52	153	-62	83	-64	63
<b>Tipo A-8</b>	-53	163	-58	72	-61	85
<b>Tipo B-1</b>	-52	145	-64	85	-64	82
<b>Tipo B-2</b>	-54	126	-63	60	-63	63
<b>Tipo B-3</b>	-48	163	-60	54	-60	58
<b>Tipo B-4</b>	-53	168	-67	45	-58	52
<b>Tipo C-1</b>	-65	4	0	0	0	0

<b>Tipo C-2</b>	-68	6	0	0	0	0
<b>Tipo C-3</b>	-63	10	0	0	0	0
<b>Tipo C-4</b>	-61	4	0	0	0	0

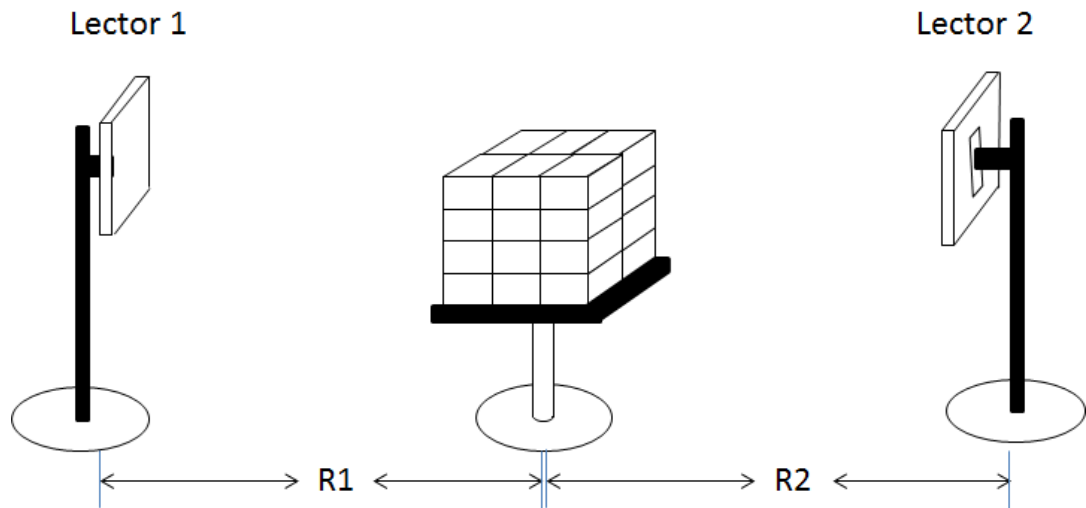
Fuente: Autor.

Tomando en cuenta los resultados obtenidos en el procesamiento de los datos entregados por el lector, se concluye que es pertinente realizar un análisis del funcionamiento y respuesta de cada tipo de etiqueta en las diferentes situaciones de lectura, puesto que en la práctica existirán factores como la potencia emitida por el lector, señales de interferencia, objetos que representen obstáculos, valores RSSI máximos y sensibilidad propios de cada tipo de etiqueta, orientación de *tag* con respecto a la antena lectora y el material etiquetado, que pueden influir en una exitosa o mala lectura para las aplicaciones que se requiera.

**2.2.1. Lector.** Ante el planteamiento de la posible interferencia entre dos lectores se evalúa los dos principales escenarios: la interferencia entre lectores no sincronizados y la evaluación de los modos de lectura planteados para mitigar los efectos de interferencia sobre el canal de lectura.

**2.2.1.1. Interferencia entre lectores.** El escenario de evaluación de interferencia entre lectores se plantea bajo dos esquemas: el primero consiste en el trabajo sincronizado entre dos lectores (utilizando la metodología LLRP) y el segundo se plantea con el trabajo de cada uno de los lectores sin sincronía. Cada uno de los escenarios está representado como un experimento aleatorio, de esta forma el escenario se plantea con una media muestral para cien experimentos ante los diferentes niveles de potencia generada por el lector.

**Figura 16. Esquema de evaluación de interferencia entre lectores**



Fuente: Autor

Ante la necesidad de evaluar de manera conjunta la fortaleza de cada escenario y teniendo en cuenta los protocolos de lectura, se plantea que cada muestra se debe tomar en un intervalo de 20 segundos para asegurar que todos los canales de lectura sean utilizados, esto debido a que el protocolo anticollisión realiza lecturas por los 50 canales con duración en cada canal de 200 milisegundos arrojando como resultado un intervalo de tiempo no menor a 10 segundos; la pseudo-aleatoriedad del protocolo se debe garantizar un escenario superior a esta ventana de tiempo para asegurar lecturas sobre todos los canales de comunicación. Con este escenario se aumenta en gran medida la probabilidad de colisión en un escenario de no interferencia.

El primer experimento consiste en generar lecturas de forma sincronizada por dos lectores ubicados equidistantes de los productos a leer ( $R1=R2$ ) aumentando la potencia en el lector de referencia por un valor de 3 dB, capturando la información

para cada prueba y normalizándola sobre un valor correspondiente al valor máximo de lecturas (RT) posibles en un escenario ideal; El valor RT se calcula en la expresión presentada en la ecuación:

$$RT = TiempoPrueba * 4 * \frac{1}{200ms} * \#tags$$

De acuerdo a la anterior expresión los valores para cada muestra fueron normalizados sobre 7200 lecturas (se utilizaron 18 *tag*, tiempo de prueba de 20 segundos cada lector hace una consulta cada 100 milisegundos). Teniendo en cuenta los anteriores valores para estimar la media muestral se plantea el análisis con 100 muestras aleatorias que conducen a los resultados presentados en la

El segundo escenario, se plantea con dos lectores no sincronizados, esto asegura una mayor tasa de transferencia de información debido a la reducción en tiempos de lectura, pero no garantiza el éxito de las lecturas en diferentes escenarios. En la **¡Error! La autoreferencia al marcador no es válida.** se describen los resultados de la media muestral tomando 100 muestras cada una con duración de 20 segundos sobre 18 *tag* en la zona de interrogación.

El fenómeno al cual se le atribuye la nulidad en la lectura es el efecto de interferencia entre lectores debido a que cuando se supera cierto umbral de potencia, el porcentaje de lecturas disminuye en manera trascendente. Esta conclusión se deriva de los resultados obtenidos ya que a mayor umbral de potencia sobre el nivel de interferencia se aumenta la probabilidad de lectura.

Tabla 2.

De acuerdo con los resultados del trabajo experimental se puede concluir principalmente que al tener sincronizados los lectores se pierde tiempo de lectura y el principal fenómeno que interviene sobre el porcentaje de lecturas es el efecto

ocasionado por la intersección de los *tag* en la zona de lectura de los *tag* por tal motivo, a mayor potencia generada por el lector, menor tasa de éxito en las lecturas.

El segundo escenario, se plantea con dos lectores no sincronizados, esto asegura una mayor tasa de transferencia de información debido a la reducción en tiempos de lectura, pero no garantiza el éxito de las lecturas en diferentes escenarios. En la **¡Error! La autoreferencia al marcador no es válida.** se describen los resultados de la media muestral tomando 100 muestras cada una con duración de 20 segundos sobre 18 *tag* en la zona de interrogación.

El fenómeno al cual se le atribuye la nulidad en la lectura es el efecto de interferencia entre lectores debido a que cuando se supera cierto umbral de potencia, el porcentaje de lecturas disminuye en manera trascendente. Esta conclusión se deriva de los resultados obtenidos ya que a mayor umbral de potencia sobre el nivel de interferencia se aumenta la probabilidad de lectura.

**Tabla 2. Porcentaje de lecturas exitosas obtenidas en el análisis de interferencia entre dos lectores sincronizados**

		Lector 1				
		Potencia	20 dBm	23 dBm	26 dBm	29 dBm
Lector 2	20 dBm	18%	35%	56%	68%	66%
	23 dBm	10%	21%	37%	55%	53%
	26 dBm	8%	16%	25%	41%	52%
	29 dBm	7%	14%	21%	22%	32%
	32 dBm	6%	11%	13%	16%	20%

Fuente: Autor

**Tabla 3. Porcentaje de lecturas obtenidas en los análisis de interferencia con dos lectores no sincronizados.**

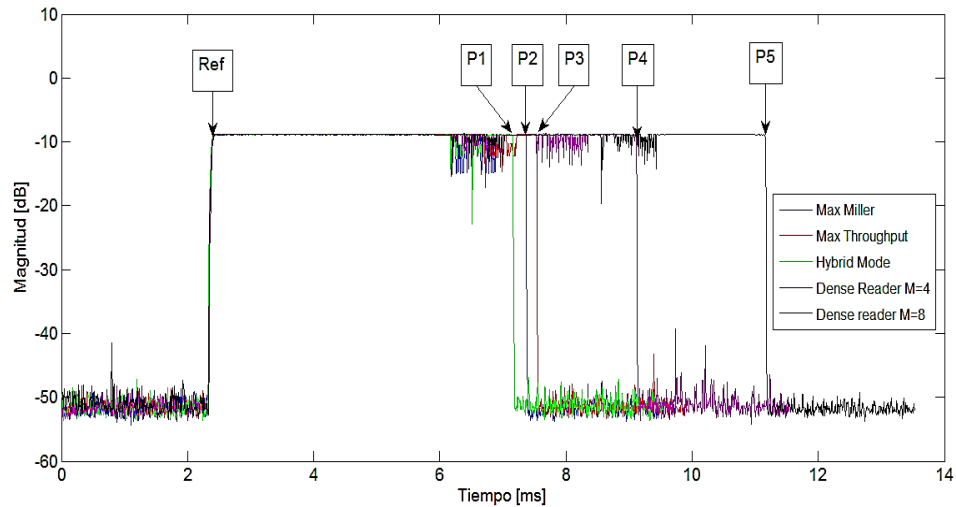
		Lector 1				
		20 dBm	23 dBm	26 dBm	29 dBm	32 dBm
Lector 2	20 dBm	40,6%	63,2%	59,4%	68,3%	79,3%
	23 dBm	35,2%	45,3%	54,7%	63,7%	74,3%
	26 dBm	26,4%	35,8%	48,7%	58,3%	69,3%
	29 dBm	15,9%	29,5%	43,1%	53,2%	65t%
	32 dBm	9,7%	18,6%	37,6%	43,2%	62,3%

Fuente: Autor.

**2.2.1.1. Protocolos anticoliisión.** El análisis de los modos de operación del lector se inició con la captura en el dominio del tiempo del canal 7 (905.75 MHz) utilizando el analizador vectorial de redes (R&S ZVL-6) en modo analizador de espectros, donde se observa la relación entre los diferentes modos de lectura y la duración de la señal de pregunta para cada uno de ellos. Por cada intento de lectura, el lector envía dos comandos de pregunta en búsqueda de *tag*.

El tiempo de duración de cada uno de los modos de lectura en un entorno sin presencia de *tag*, bajo este estándar de pruebas se observó que el modo con menor duración en la búsqueda de etiquetas es el *HYBRID MODE*, mientras que el modo con mayor duración es el *MILLER M=8*.

**Figura 17. Modos de lectura LLRP**



Fuente: Autor

El tipo de modulación en banda base hace que la rata de transmisión sea mayor o menor de acuerdo con el índice de codificación, tomando como referencia los tres protocolos con tiempos similares (*Max Miller, Max Throughput, Hybrid*); se resume el estudio en la Tabla 4.

**Tabla 4. Comparación de los resultados medidos.**

Parámetro	Max Throughput	Hybrid Mode	Max Miller
PERIODO ENTRE CONJUNTO LECTURAS [ms]	30	31	35
TIEMPO ENTRE LECTURAS [ms]	5	7	11
Tasa de lectura Promedio [Tag/seg]	240	220	180

Fuente: Autor

De acuerdo con los resultados expresados en la Tabla 4, se concluye que el modo de lectura con mejor desempeño en términos de la tasa de lectura es el denominado “Max Throughout”.

**2.2.2. Antena del lector.** El principal reto en la selección de la antena lectora es la orientación de los *tag* frente al campo eléctrico de la onda generada por esta. Se plantea un análisis para establecer el comportamiento de las lecturas ante la presencia de un campo lineal versus el campo rotatorio (polarización circular). En cada uno de los casos se utiliza la antena tipo dipolo (ver Figura 14; *tag* tipo A-2). Con cada uno de las antenas de lectura se desarrolla un conjunto de pruebas con duración de 20 segundos, potencia generada por el lector de 27 dBm, distancia entre el *tag* y lector de 70 centímetros.

**Tabla 5. Análisis de sensibilidad de antenas lectoras**

Rotación del tag	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
	RSSI	RSSI	RSSI	RSSI	RSSI	RSSI	RSSI
Polarización circular	-45	-43	-46	-47	-46	-44	-45
Polarización Lineal	-35	-37	-39	-46	-51	-57	-63

Fuente: Autor.

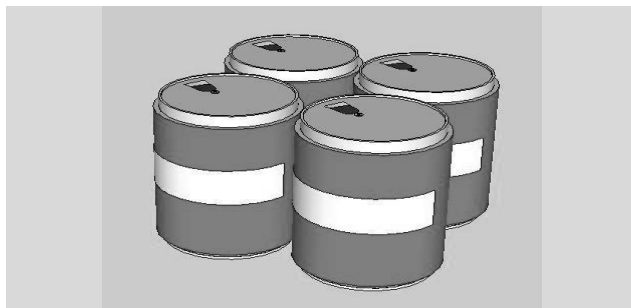
Teniendo en cuenta los resultados de la Tabla 5, se puede constatar que las antenas de lectura polarizadas linealmente presentan deficiencias en la adquisición de la información ante la orientación del *tag*; esto se evidencia sobre orientaciones perpendiculares entre los dos elementos. Por otra parte, las lecturas con antenas

de polarización circular son deficientes en relación a aplicaciones en las cuales la orientación del *tag* es conocida; reflejado en la comparación contra la antena de polarización lineal es paralelo con el *tag*.

**2.2.3. Producto.** Para el estudio de la lectura sobre productos de diferente material, se propone la validación de los escenarios y las consideraciones mínimas que deben tenerse en cuenta al implementar sobre productos que se encuentren dentro de estos grupos.

**2.2.3.1. Etiquetado de material conductor.** Para el caso de estudio sobre lecturas en materiales conductores, se utilizan envases de metálicos desocupados (ver Figura 18), con la finalidad de observar la respuesta de *tag* de trabajo en el reconocimiento de tal producto. Los resultados evidenciaron la ineficiencia de *tag* en presencia de metales, puesto que no se logró el reconocimiento de ninguno los productos, aun cuando se configuró el dispositivo lector a su máxima potencia radiada permisible.

**Figura 18. Etiquetado de materiales conductores**



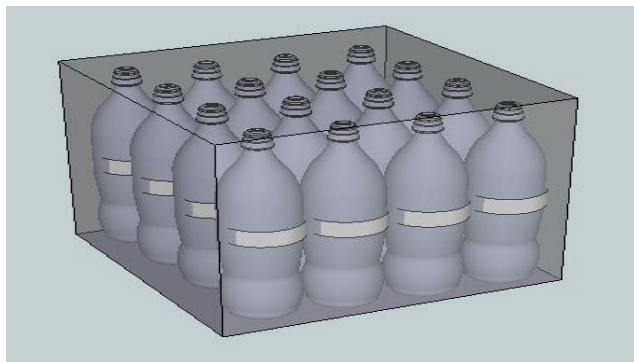
Fuente: Autor

Como respuesta a la limitante planteada, en estos casos se utiliza *tag* encapsulados en materiales aislantes para evitar que el material conductor entre en contacto con la antena del *tag*. En términos económicos, los *tag* encapsulados superan en valor hasta de diez veces el valor de una *tag* común.

**2.2.3.2. Etiquetado de material absorbente.** Para el estudio de etiquetado de materiales absorbentes, se utiliza agua limpia llenado las botellas gradualmente para los diferentes escenarios de análisis. Con cada uno de los escenarios planteados se desarrolla un conjunto de pruebas con duración de 20 segundos, potencia generada por el lector de 27 dBm, distancia entre el *tag* y lector de 70 centímetros y utilizando una antena de polarización circular.

El primer registro de información de lectura, se realiza como prueba de conjunto de un material traslucido, es decir, botellas plásticas completamente vacías y orientadas en paralelo con la antena de lectura. Es este escenario, la lectura de productos ha sido exitosa.

**Figura 19. Etiquetado de material absorbente**



Fuente: Autor.

Para el segundo escenario, las botellas han sido llenadas con aproximadamente con 150 centímetros cúbicos de agua (correspondiente al 25 % de la capacidad total). Los resultados muestran un nivel de éxito en la lectura de conjunto, pero al evaluar la potencia recibida en el lector con la información de cada uno de los *tag*, es notoria la pérdida de energía en el medio, ocasionando en promedio una disminución de 10 dBm.

El tercer escenario, las botellas han sido llenas hasta el 50 % de su capacidad, haciendo que el nivel de agua apenas llegue al límite donde se encuentra el *tag* adherido al producto. Como resultado se obtiene que cerca del 40 % de los productos no hayan registrado y el 60 % restante son leídos con indicadores de potencia sobre el umbral mínimo de lectura permitido por el lector.

**Figura 20. Resultados de la evaluación de etiquetado en material absorbente**

Contenido de agua [cm3]	RSSI [dBm]	Porcentaje de lectura
0	-32,04	100%
150	-43,07	100%
300	-63,89	60%

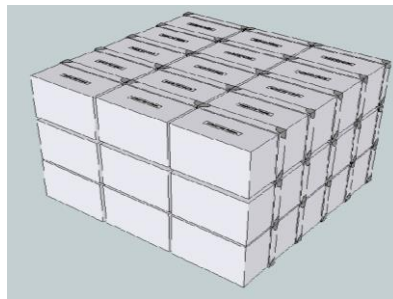
Fuente: Autor.

Las botellas se llenaron gradualmente hasta su máxima capacidad, permaneciendo el *tag* en la misma posición, desde el tercer escenario planteado no se pudo registrar información de lectura de algún *tag* adherido a las botellas. Con esto podemos concluir que los productos adsorbentes se pueden etiquetar siempre que se respete una distancia de separación entre el nivel del líquido y el *tag* adherido al producto.

**2.2.4. Embalaje del producto.** Teniendo en cuenta los diferentes estudios presentados a lo largo del presente capítulo, se define dos escenarios de evaluación: el primer escenario, se disponen los productos directamente sobre la antena de lectura (Ver Figura 22) y el segundo escenario se disponen los productos ubicando los *tag* uno frente al otro (Ver Figura 23). Cada uno de los escenarios ha sido evaluado sobre conjunto de pruebas con duración de 20 segundos, potencia generada por el lector de 32,5 dBm, distancia promedio entre el *tag* y lector de 70 centímetros y utilizando una antena de polarización circular.

Según los datos obtenidos en el primer escenario, se muestra alta fidelidad en la lectura, esto evidenciado en el número de lecturas y el valor de potencia promedio recibida en el lector.

**Figura 21. Productos utilizados en las lecturas de conjunto**

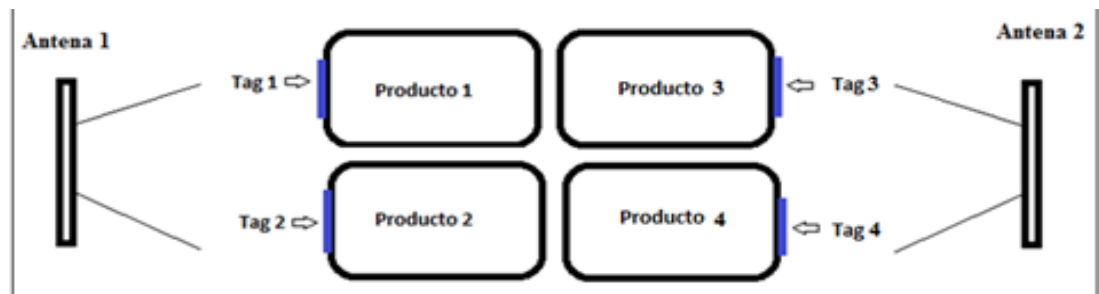


Fuente: Autor.

Los resultados obtenidos en el segundo escenario, se demuestra bajo promedio de lectura probado mediante la pérdida de información de algunos productos. Se atribuye la pérdida de información al contacto que ejerce cada los *tag* uno con el

otro. En caso de ser necesario que el apilamiento de productos se disponga de manera aleatoria se debe utilizar materiales aislantes entre los productos.

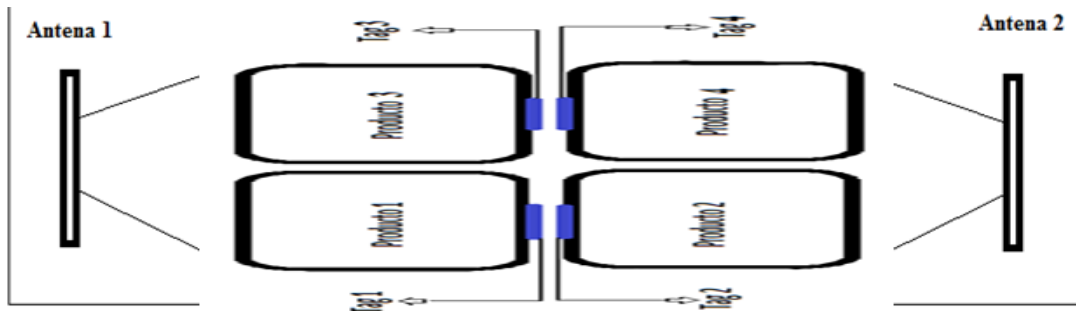
**Figura 22. Primer escenario de evaluación**



Fuente: Autor

Como resultado del análisis de las pruebas de conjunto, se puede concluir que 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 *tag* se posicionen apuntando directamente a las antenas y no estar en contacto uno sobre el otro.

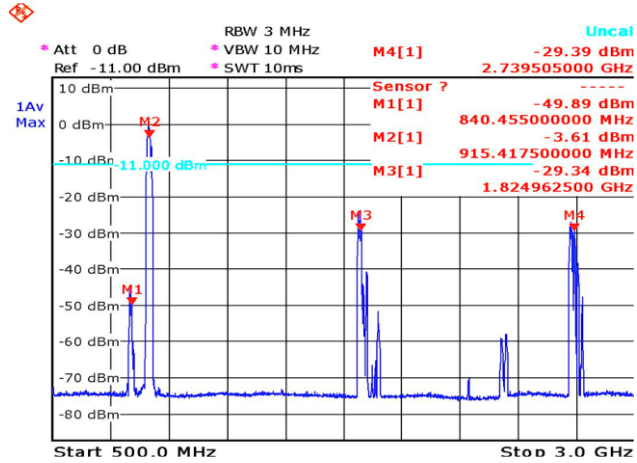
**Figura 23. Segundo escenario de evaluación**



Fuente: Autor.

**2.2.5. Análisis de sitio.** Para ilustrar un caso de estudio, se conecta un analizador de espectros a una antena de lectura RFID de polarización circular. En la Figura 24 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.

**Figura 24. Medida de la banda de frecuencia comprendida entre 500 MHz y 3 GHz**



Fuente: Autor

De la Figura 24, se concluye luego de realizar diferentes pruebas que, en el sitio de estudio, la banda de los 902 a 928 MHz no se ve afectada por otras señales de radiofrecuencia. Se determina que en el sitio se puede implementar un sistema de RFID sin interferencia de canales adyacentes ni del mismo canal de comunicación.

### **3. IMPLEMENTACIÓN DE TESTBED EN UN ESCENARIO ACADÉMICO.**

Aunque existan diferentes herramientas de simulación basadas en software para estudios de escenarios logísticos(Macro & Salmi, 2002)(Peng, 2010); estos instrumentos representan una brecha significativa con el mundo real. En nuestro esfuerzo por reducir esta diferencia, se plantea como propósito diseñar e implementar un escenario que permita evaluar de forma comparativa diferentes escenarios logísticos que hacen parte de la cadena de suministro, obteniendo un conjunto de recomendaciones y conclusiones en la implementación de la tecnología en escenarios reales.

A nivel internacional, el principal centro de investigación relacionado con RFID es el “*RFID Research Center*” creado en el año 2005, está ubicado en la universidad de Arkansas (USA); ofrece 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 suministro (Buyurgan & Mendoza, 2008).

La creación del laboratorio de logística de la universidad industrial de Santander, se orienta hacia la fundación de un campo de investigación de procesos logísticos relacionados con los sectores productivos locales. Buscando de esta forma el establecimiento de un escenario de innovación tecnológico asociado a la gestión de procesos logísticos, desarrollo de proyectos de investigación en logística minorista e incentivar el fortalecimiento de la industria local a través de eventos académicos y empresariales.

Como parte del trabajo, se ha creado un escenario abierto a la comunidad académica, donde se podrán realizar actividades que simulan la producción de un producto, el almacenamiento en un centro de distribución y el modelo de una tienda inteligente, así como las principales herramientas de enlace entre los principales eslabones de la cadena de suministro.

### **3.1. VISIÓN EL LABORATORIO DE LOGÍSTICA UIS**

Desde su proyección, el laboratorio de logística ha sido planteado como un escenario de investigación del impacto de la tecnología RFID en la cadena de suministro; proyectado como un centro para la innovación e implementación de las tendencias en logística inteligente.

En cumplimiento de los objetivos planteados, se establecen como objeto de investigación los tres principales eslabones de la cadena de suministro (Proveedor, Centro de distribución y cliente). El propósito del escenario es mejorar las prácticas tradicionales que toman lugar dentro de la cadena de suministro: manejo de información de los productos, inventarios en tiempo real, trazabilidad de productos, entre otros servicios logísticos que mejoran con el uso de la tecnología.

**Estandarización:** Facilidades para evaluación y experimentación escenarios estandarizados, fortalecer el nivel de penetración de la tecnología en relación con la estandarización de la de los diferentes tipos de identificación utilizados de la cadena de suministro, establecer el testbed como punto de referencia en implementación de la tecnología en escenarios industriales de la región y del país.

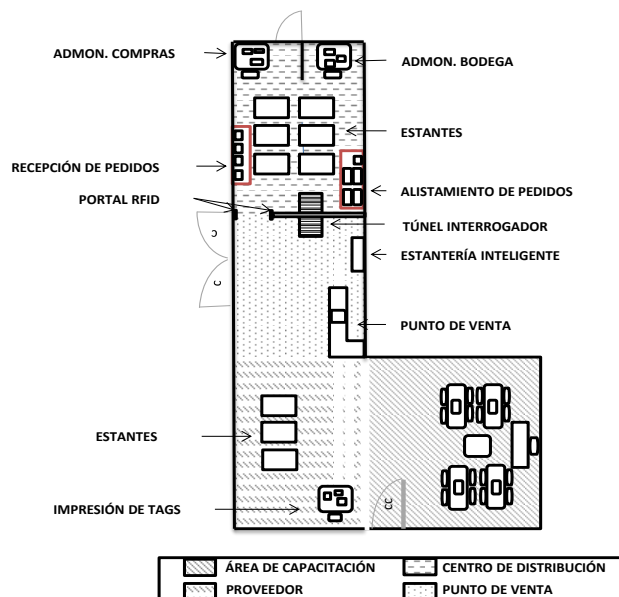
**Innovación:** El escenario es flexible para la fundamentación de diferentes temáticas. Debe ser escalable, soportar la usabilidad por el personal de soporte de la universidad, desarrollar una hoja de ruta enfocada en la innovación (componentes de comercialización y la expansión del conocimiento en comunidades académicas).

**Sustentable:** atraer interesados (Empresarios) para fortalecer la investigación, establecer políticas de mercadeo con objetivos enfocados a proyectos colaborativos, formular estrategia comercial (evaluar costos reales de las pruebas, Comprender el potencial de la tecnología), desarrollar nuevos servicios (certificaciones, entrenamiento, consultoría, muestra en eventos).

### 3.2. DISTRIBUCIÓN FÍSICA DEL LABORATORIO DE LOGÍSTICA

El laboratorio cuenta con aproximadamente 130 metros cuadrados distribuidos en cuatro áreas como se muestra en la Figura 25, donde se destaca el centro de distribución como eje de la cadena de suministro y el área destinada para capacitación, sin restar importancia al área de punto de venta (comercio minorista) y el proveedor como agente generador de productos.

**Figura 25. Distribución física del laboratorio de logística UIS**



Fuente: Tomado de (Gil & Quintana, 2013)

**3.2.1. Proveedor.** El proveedor debe administrar eficientemente la producción utilizando la realimentación del comportamiento del mercado, además, se puede lograr la reducción de inventarios y la distribución eficiente del producto, la respuesta eficaz a la demanda, disminución de las pérdidas de productos en las actividades de transporte, entre otros.

El área del proveedor cuenta con estantes para el almacenamiento de productos, un computador donde se reciben las órdenes de pedido en línea, y una impresora RFID (imprime el EPC y el rótulo visible).

**Figura 26. Vista del escenario del Proveedor**



Fuente: Autor

La estandarización del código electrónico de producto como parte fundamental del estudio de RFID en el laboratorio de la cadena de suministro se plantea una

plataforma tecnológica que permita la identificación del producto individualizado y la identificación del embalaje que contiene el conjunto de productos.

Se cuenta con un software interconectado con todos los agentes de la cadena de suministro pronosticando la demanda, generando de esta forma alertas en tiempo real, indicando la producción de determinadas referencias.

**3.2.2. Centro de distribución.** El impacto de la tecnología RFID en los grandes centros de distribución ha sido evidenciado desde el lanzamiento en la cadena de suministro. Los sistemas de gestión de almacenes soportados en RFID pueden adquirir, transferir, verificar y manipular grandes volúmenes de datos en intervalos cortos de tiempo.

Figura 27. Centro de distribución.



Fuente: Autor

Los puntos de interés en este escenario, son el manejo de inventarios, la recepción y alistamiento de pedidos. La gestión de almacenamiento se realiza con estantes de cuatro niveles, distribuidos en bloques con pasillos que permiten el libre tránsito entre ellos. El proceso de control de inventarios es llevado a cabo por un dispositivo portable de lectura, que se puede llevar a cada uno de los estantes gracias a la conexión inalámbrica con la base de datos de la bodega.

La inspección de todas las unidades de embalaje que ingresan a la bodega se realiza con un portal de entrada; estructura compuesta una estructura metálica anclada entre el techo y el piso que proporciona soporte para antenas lectoras, con la finalidad de configurar la orientación de las antenas para comprender la importancia de la orientación de las antenas en un portal de lectura RFID; se destaca la flexibilidad en diferentes entornos, además, destaca la importancia de la orientación de las etiquetas según se requiera debido a que está equipado con dos antenas de lecturas en campo lejano con polarización lineal y dos antenas de polarización circular.

**Figura 28.a. Portal de entrada RFID (Izq.), Túnel interrogador (der.)**



Fuente: Autor.

El control de salida de productos es relacionado a un túnel interrogador; compuesto por una banda deslizadora y dos antenas de alto desempeño que permiten la lectura de grandes volúmenes de productos en cortos periodos de tiempo.

**3.2.3. Punto de venta.** Para la simulación de procesos de almacenamiento y actualización de inventarios en tiempo real en un punto de venta, se diseña una estantería de madera donde se incluída cuatro antenas para el reconocimiento de los productos depositados en ella; a este tipo de estanterías se les reconoce como “estanterías inteligentes”.

Por otra parte, se cuenta con un punto de venta dotado con una antena RFID (Times7 A7075) que permite la identificación automática para la posterior facturación de los productos que se entregan al consumidor final.

**Figura 29. Punto de venta**



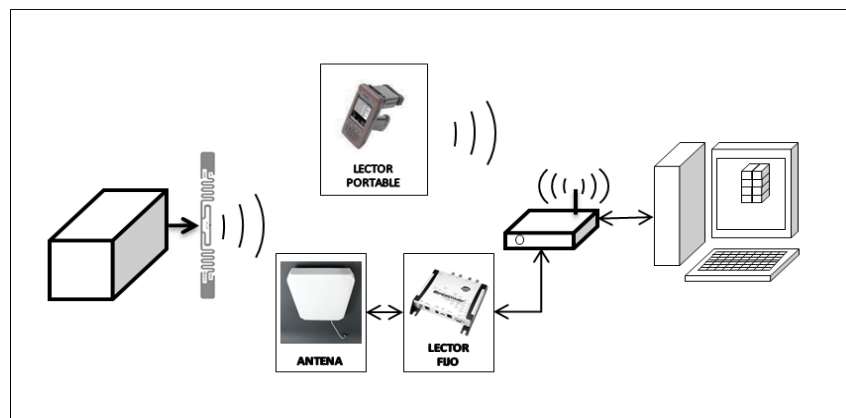
Fuente: Autor.

### 3.3. DISEÑO TÉCNICO DEL LABORATORIO DE LOGÍSTICA

El laboratorio de logística cuenta con equipos especializados en la adquisición de información con tecnología RFID, pero no solo basta tener tecnología de punta para recrear un escenario logístico, sino que es indispensable tener ideas claras para distribuirlos y usarlos de forma adecuada.

**3.3.1. Conectividad del Sistema RFID del laboratorio.** La verdadera fortaleza de un sistema RFID se encuentra en la elaboración de una red de comunicación que permita la comunicación inequívoca de la información contenida en las etiquetas electrónicas, por otra parte, se debe estructurar y ajustar a las necesidades de la aplicación. Para el caso de estudio, se parte de la necesidad de evaluar diferentes escenarios logísticos; utilizando estaciones de lectura fijas (túnel interrogador, estantería inteligente, portal de lectura y punto de venta) y espacios de lectura móvil (inventarios en bodega, validación y alistamiento de pedidos).

**Figura 30. Diagrama de comunicación del sistema RFID del laboratorio.**

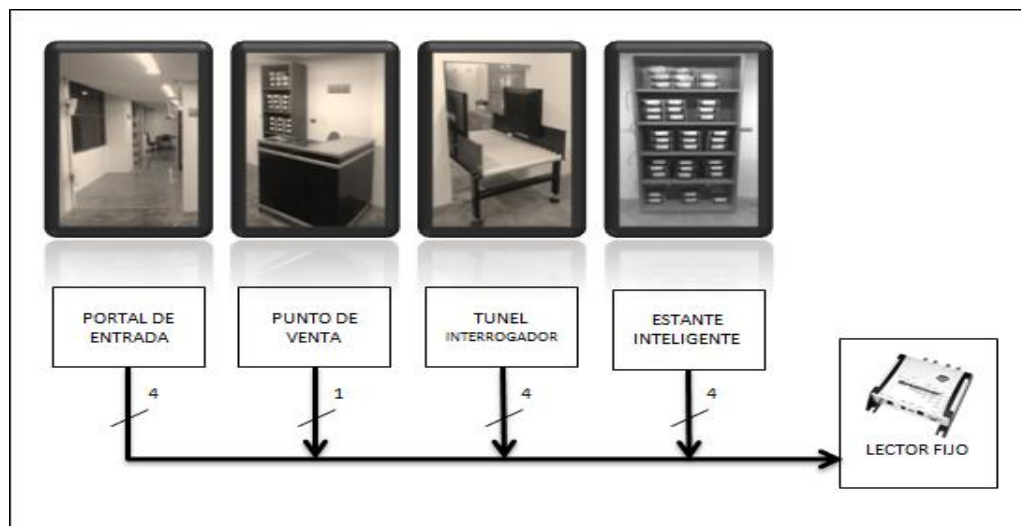


Fuente: Autor.

El laboratorio de logística cuenta con un lector portable de que se comunica de forma inalámbrica con el *tag*, obteniendo la información del producto, para entregarla a la base de datos usando la comunicación inalámbrica con el enrutador. El lector portable recibe instrucciones o tareas desde la aplicación de forma remota, de esta forma se establece una comunicación bidireccional entre la aplicación y el dispositivo.

Por otra parte, el lector fijo se comunica bidireccionalmente con la aplicación creada para acceder a la información requerida por el usuario. La captura de la información del producto se realiza a través de diferentes antenas ubicadas estratégicamente en cada uno de los escenarios, esta información es llevada en forma de señales de radiofrecuencia hasta el lector fijo que se encarga de convertirla en datos asociados a cada uno de los productos dentro de los diferentes escenarios logísticos.

**Figura 31. Conexión del lector con los diferentes escenarios logísticos**



Fuente: Autor

El principal reto para el laboratorio de logística, ha sido establecer un escenario donde se pueda integrar múltiples puntos estratégicos de lectura fija con un total de 13 antenas. Para solucionarlo se adquiere un lector que puede operar hasta con 32 puertos; el lector fijo multiplexado 8 señales por cada uno de los cuatro puertos habilitados utilizando periféricos. El uso de un solo lector evita interferencia entre los cuatro escenarios planteados en el laboratorio.

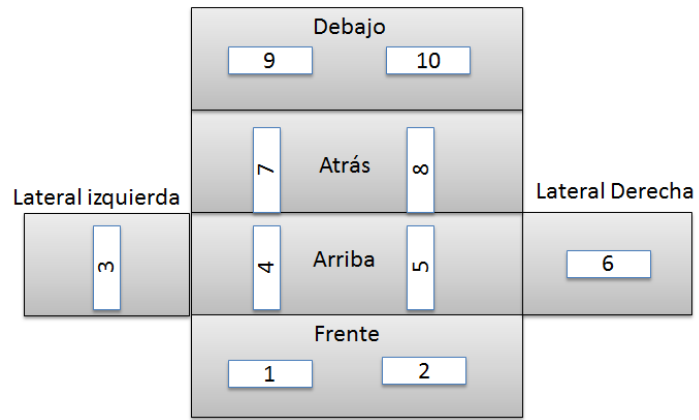
Para garantizar que en la gestión de la información no exista interferencia por una otras fuentes operando en la misma banda de frecuencia, se utiliza el multiplexor “*Speedway Reader Antenna Hub*”. El multiplexor es flexible ya que permite convertir un lector RFID de cuatro puertos en uno de 32 puertos de lectura.

**3.3.2. Validación de los escenarios logísticos RFID planteados.** Como parte del diseño técnico del laboratorio se desarrolla un conjunto de experimentos que permiten validar el objeto con el que fueron concebidos los escenarios RFID del laboratorio de logística UIS. A continuación, se describen los resultados para el portal de entrada, Punto de Venta, Túnel interrogador y el estante inteligente.

**3.3.2.1. Estante inteligente.** Las pruebas fueron llevadas a cabo en un estante de madera con cuatro posiciones (ver Figura 29, en los cuales se dispuso de una antena de lectura (Times7 A7075). El estudio en su primera parte fue desarrollado etiquetando una caja de producto en múltiples posiciones, buscando determinar las ubicaciones con mayor margen de lectura y así garantizar un 100 % de lecturas.

Como resultado de la evaluación, la mejor posición para garantizar la efectividad en las lecturas es la ubicada en el número 6 (ver Figura 32) ubicada en la parte lateral derecha; La solución ha sido tomada porque se presentó el mayor indicador de potencia recibida (RSSI) y el mayor promedio de lectura (ver Tabla 6).

**Figura 32. Ubicación de tag RFID**



Fuente: Autor.

**Tabla 6. Análisis de ubicación de etiqueta.**

Potencia de lectura	Posición																			
	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10	
	Lect.	RSSI	Lect.	RSSI	Lect.	RSSI	Lect.	RSSI	Lect.	RSSI	Lect.	RSSI	Lect.	RSSI	Lect.	RSSI	Lect.	RSSI	Lect.	RSSI
10	-	-	-	-	119	-41	61	-43	128	-36	128	-32	119	-41	125	-40	-	-	-	-
13	-	-	127	-42	128	-42	115	-44	130	-37	131	-32	130	-41	114	-42	-	-	-	-
16	-	-	155	-41	155	-42	153	-44	155	-37	154	-31	155	-40	153	-43	-	-	-	-
19	85	-48	160	-40	160	-41	157	-44	160	-36	160	-31	159	-39	159	-43	-	-	-	-
22	112	-48	163	-40	161	-41	162	-44	163	-36	163	-34	163	-39	162	-43	-	-	-	-
25	125	-48	161	-39	161	-40	161	-44	161	-37	161	-37	161	-38	161	-44	160	-46	161	-50
<b>Total</b>	54	-48	128	-40	147	-41	135	-44	150	-36	150	-33	148	-40	146	-42	27	-46	27	-50

Fuente: Autor.

La segunda fase de evaluación de la estantería, se busca determinar las implicaciones que se pueden presentar en la lectura al tener un conjunto de

productos ubicados sobre cada antena. La potencia del lector se fue incrementando gradualmente hasta lograr el reconocimiento de todas las etiquetas. Para garantizar una mayor seguridad en la lectura de las etiquetas, deben ubicarse de manera acorde a la mayor exposición de potencia según el patrón de radiación de la antena.

**Tabla 7. Estante inteligente – evaluación de capacidad de almacenamiento y velocidad de lectura**

Potencia de lectura [dBm]	RSSI [dBm]	Tasa lecturas [tag/seg]	Productos leídos
20	-27,85	138	17%
23	-28,04	207	24%
26	-29,35	545	83%
29	-29,45	566	100%
32	-29,46	568	100%

Fuente: Autor.

Como estudio complementario, se observa un efecto de borde en la antena al no presentar buenas lecturas o lecturas nulas cuando las etiquetas se encuentran en un extremo de la misma, de esta manera, al ubicar el primer nivel de productos, se recomienda ubicarlos a una distancia entre 1 a 3 centímetros hacia dentro del borde de la antena para garantizar las lecturas de los productos.

**3.3.2.2. Punto de venta.** Para el análisis del escenario se plantean dos casos de estudio: el primero busca establecer la relación de separación entre la antena de lectura y el *tag*, y el segundo evalúa la posibilidad de leer productos con contenidos de líquidos.

El experimento se fundamenta en el establecimiento de la distancia de lectura y la potencia generada por el lector; los resultados están descritos en términos de la tasa de lectura de *tag* (*tag* por segundo) y el promedio de potencia recibida por el lector (RSSI). En conclusión, teniendo en cuenta los resultados presentados en la Tabla 8, se recomienda usar potencia relativamente baja (alrededor de los 20 dBm) en relación con el nivel de uso para el que se plantea el escenario, esto con el fin de mitigar lecturas de productos adyacentes al escenario.

**Tabla 8. Punto de venta – Distancia separación entre *tag* y antena lectora.**

Potencia de lectura [dBm]	Distancia de separación antena - tag [cm]											
	5		10		15		20		25		30	
	Lect.	RSSI	Lect.	RSSI	Lect.	RSSI	Lect.	RSSI	Lect.	RSSI	Lect.	RSSI
20	106	-45	85	-52	63	-56	42	-61	17	-65	-	-
23	165	-36	110	-48	93	-51	63	-57	43	-59	15	-63
26	176	-34	143	-42	103	-47	89	-52	58	-54	34	-56
29	218	-28	197	-38	129	-41	101	-48	65	-50	52	-49
32	315	-25	231	-32	176	-37	134	-42	98	-45	74	-45
Promedio	196	-34	153	-42	113	-46	86	-52	56	-55	44	-53

Fuente: Autor.

El segundo escenario de análisis, pretende demostrar la relación entre antena de lectura de campo cercano y la pérdida de energía entre los materiales adsorbentes. Se posiciona un conjunto de botellas sobre la antena lectora, a medida que la experimento va evolucionando se adiciona agua para estimar las pérdidas de energía en la comunicación y el efecto sobre la tasa de lectura (el *tag* es ubicado sobre la mitad de la botella).

En la Tabla 9 se puede determinar que los efectos de etiquetado de material absorbente sobre la tasa de lectura de productos y el nivel de potencia recibida por el lector. En resumen, se determina que para obtener un alto margen de lecturas el nivel de agua en cada producto no debe exceder la posición de *tag* (ver Tabla 9).

**Tabla 9. Punto de venta – evaluación de material absorbente.**

Contenido de agua [mm3]	Potencia Lectura [dBm]	RSSI [dBm]	Tasa lecturas [tag/seg]	Productos Leídos
0	19	-46,7	106	100%
0	22	-42,3	128	100%
125	19	-47,1	97	94%
125	22	-50,0	66	100%
250	27	-44,6	53	17%
250	30	-46,7	30	17%

Fuente: Autor

Como experimento paralelo, se logra obtener lectura de cada producto al pasar sobre la antena lectora, sin importar el nivel de agua; el *tag* debe mantener una distancia inferior a 3 centímetros y la potencia de lectura superior a 20 dBm.

**3.3.2.3. Túnel interrogador.** El escenario para el control de salida del centro de distribución, se dispone de un túnel de interrogación que cuenta con 4 antenas de polarización circular; la ventaja de este escenario sobre el portal de entrada es el aumento en la tasa de lecturas producto de la agrupación de campos electromagnéticos en un espacio reducido. El estudio de este escenario se orienta al análisis de la relación entre la tasa de lecturas y la potencia necesaria; esto con el fin de establecer la velocidad de flujo de mercancía a través de este escenario. Para cada uno de los niveles de potencia se hace pasar el conjunto de productos a

una velocidad promedio de 0, 10 5 y 2 metros por segundo, para demostrar la relación entre la tasa de lecturas y la potencia de lectura; con el objetivo de establecer el tiempo mínimo de permanencia del grupo de productos.

**Tabla 10. Túnel interrogador – evaluación de velocidad de lectura.**

Potencia [dBm]	RSSI [dBm]	Tasa lectura [tag/seg]	Velocidad [m/seg]
20	-24,97	108	0
20	-25,41	66	1
20	-25,38	46	0,5
20	-25,55	43	0,2
23	-25,68	156	0
23	-26,38	108	1
23	-26,59	88	0,5
23	-26,44	89	0,2
26	-26,02	234	0
26	-26,82	210	1
26	-27,40	153	0,5
26	-28,09	146	0,2
29	-32,76	345	0
29	-33,34	276	1
29	-34,72	213	0,5
29	-34,61	223	0,2
32	-32,76	467	0
32	-34,53	398	1
32	-36,43	357	0,5
32	-37,23	353	0,2

Fuente: Autor

El resultado experimental muestra que el túnel interrogador es el escenario más robusto, determinado por la relación entre la potencia generada y el porcentaje de lecturas, es decir, se requiere baja potencia de lectura para adquirir el cien por ciento de la información de los productos que pasan a través de la zona de interrogación. Por otra parte, se puede identificar que a medida que aumenta el volumen de productos dentro de la zona de interrogación, se debe aumentar el nivel de potencia con el objeto de asegurar la lectura de cada uno de los productos.

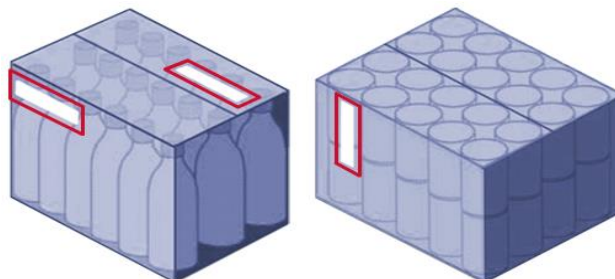
**3.3.2.4. Portal de entrada.** El portal de entrada, se diseña e implementa sobre una estructura metálica flexible que proporciona un soporte para antenas lectoras, con la finalidad de configurar un portal lector a diferentes necesidades de lectura; de este diseño se destacando la característica de ser ajustable. El portal se construye con dos antenas de polarización lineal (ARC-PA0913B01) y dos de polarización circular (S9028PCR y S9028PCL).

El objetivo de planteado para el portal de entrada es la identificación de los contenedores de los productos (cajas, estibas, vehículos, entre otros). Durante el experimento, se busca determinar la ubicación de los *tag* en cada contenedor con materiales absorbentes y conductores; como reto de diseño del portal.

El resultado experimental arroja los siguientes observaciones, cuando se desea realizar lectura de un contenedor de productos absorbentes (ver Figura 33 izquierda) y conductores (ver Figura 33 Derecha), se debe ubicar *tag* del contenedor sobre una superficie que espacios lejanos a los materiales bajo análisis.

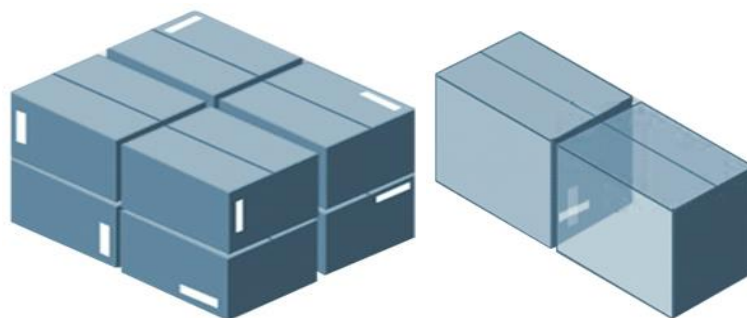
En la Figura 33 se resalta con recuadros las mejores ubicaciones que coinciden justamente sobre espacios de aire que deja la consolidación de los productos dentro del contenedor.

**Figura 33. Etiquetado del contenedor de materiales absorbentes y conductores**



Fuente: Autor

**Figura 34. Agrupación de contenedores de productos**



Fuente: Autor.

El segundo escenario de estudio, ha sido evaluar la lectura de contenedores agrupados como se indica en Figura 34. En relación a los diferentes escenarios planteados, se determina que los productos se pueden agrupar siempre y cuando los *tag* RFID no se ubiquen de manera contigua (ver Figura 34 derecha).

#### **4. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PILOTO RFID EN EL SECTOR TEXTIL.**

El principio fundamental en la dinamización de los procesos logísticos de una empresa se fundamenta en la agilidad en que se procesa la información para agilizar el flujo de bienes o servicios prestados; por tal motivo, en los últimos años un buen número de empresas han mostrado interés en implementar herramientas metodológicas y tecnológicas que puedan disminuir los problemas logísticos internos.

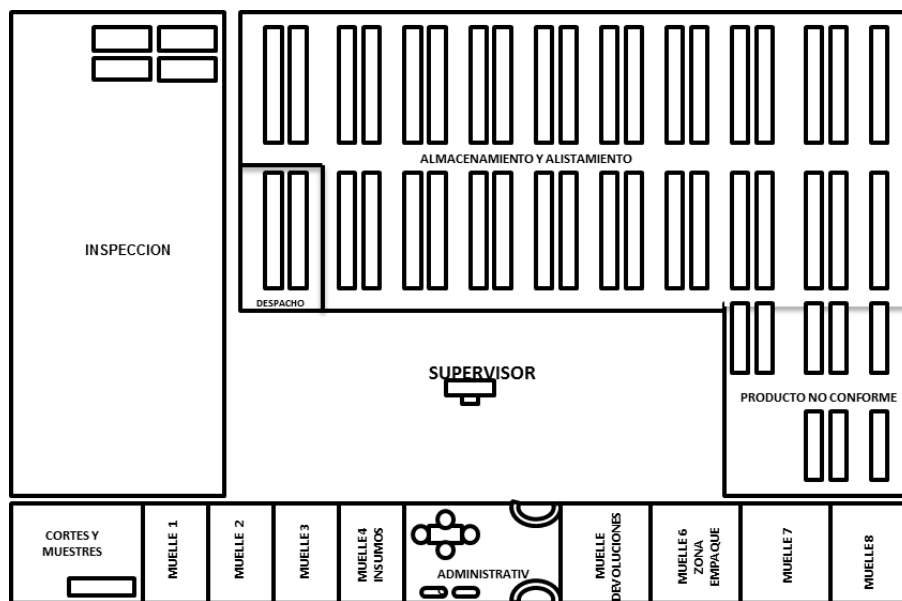
Ante la necesidad de Colombia de impulsar estándares de clase mundial en los sectores que hacen parte del Programa de Transformación Productiva (PTP); del cual el sector textil hace parte fundamental. Algunas empresas Santandereanas como COMERTEX S.A. han entendido la importancia de estas estrategias y han buscado mejorar sus procesos mediante el desarrollo de proyectos de investigación aplicada donde se integra su experiencia y necesidades con las fortalezas académicas y capacidad de investigación de las universidades.

Actualmente, COMERTEX S.A. cuenta con uno de sus centros de distribución (CEDI) ubicado en la localidad de Girón, en donde se llevan a cabo tareas relacionadas con los procesos de recepción, almacenamiento y despacho de mercancías. A través de un proceso de acercamiento con la Universidad Industrial de Santander se identificaron diversas necesidades de mejoramiento ante lo cual el proyecto de investigación de maestría en Ingeniería Electrónica planteado, busca dar solución a la problemática de esta empresa y explorar en entornos industriales aspectos avanzados de la tecnología de identificación por radiofrecuencia y formar una metodología que permita establecer criterios técnicos de diseño necesarios en la implementación de una solución de alta calidad en un entorno industrial.

COMERTEX S.A. es una empresa comercializadora de productos textiles que también ha incursionado en mercados de la industria manufacturera, calzado, hogar y prendas de vestir. En el centro de distribución de COMERTEX S.A. se concentran

la mayor parte de las operaciones logísticas de la empresa, por tal motivo, es allí donde se realizan los procesos de recepción de mercancías, almacenamiento y despacho, del mismo modo y para darle solidez a los balances de la empresa se realizan procesos de inventariado de productos. Actualmente, los procesos de captura de información se realizan de forma manual, lo que implica un margen de error en la información recopilada; esto limita en diferentes aspectos la producción de la empresa; los trabajadores emplean el tiempo de producción en la digitalización de grandes volúmenes de información, desplazamientos entre la empresa para comunicar los datos con las diferentes dependencias, impresión de etiquetas no sistematizada, tramites logísticos de rutina, entre otros.

**Figura 35. Centro de Distribución COMERTEX S.A.**



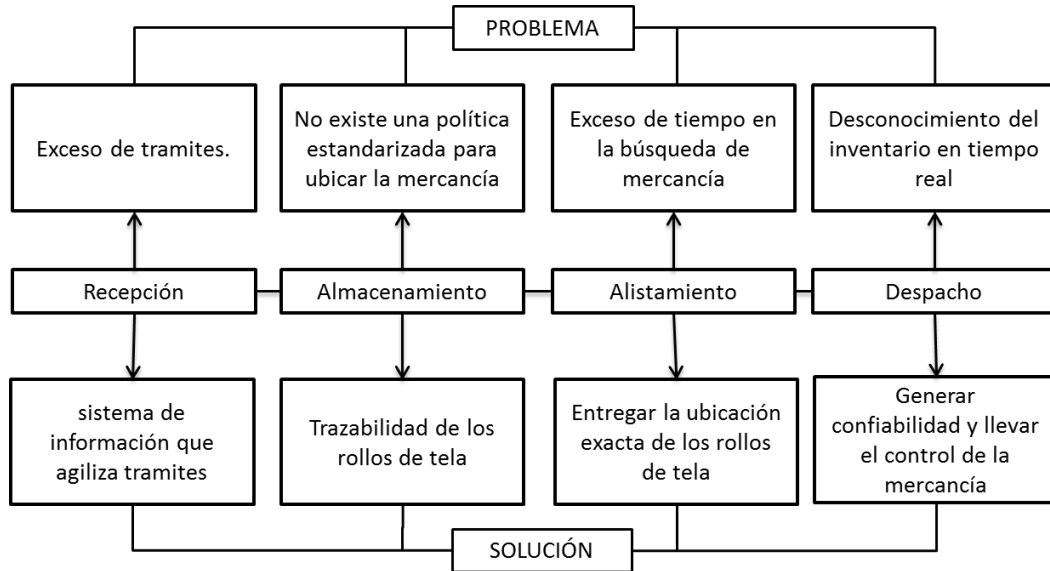
Fuente: Autor.

En esta parte de la investigación, se implementó un piloto de captura automática de información de productos utilizando tecnología RFID en el centro de distribución de COMERTEX S.A. (Ver Figura 35) con el propósito firme de evaluar las mejoras en los procesos de recepción, alistamiento, despacho y toma de inventarios de mercancía. Al ser una etapa de aplicación, se desarrollan etapas de experimentación que involucran la combinación de metodologías de evaluación de aspectos técnicos y teóricos; soportados en las conclusiones del testbed de tecnología RFID de la Universidad Industrial de Santander.

#### **4.1.PROCESOS LOGÍSTICOS INTERVENIDOS CON RFID EN LA PRUEBA PILOTO**

Antes de iniciar la implementación de la tecnología se debe tener en cuenta el problema a resolver, para COMERTEX S.A. ha sido resaltado el reto logístico más importante de su historia: el manejo de inventarios. Actualmente, la compañía maneja un conjunto de más de diez mil referencias correspondientes a cerca de cien mil unidades de productos y una rotación cercana a las cincuenta mil unidades anualmente. La operación de toma de inventarios se lleva a cabo anualmente y consume un total de tres mil seiscientas horas hombre que equivale realizar trabajo de veinte operarios durante todo un mes; por este motivo la compañía incluye durante los días de inventarios un gran número de personal externo contratado únicamente para el apoyo en esta actividad. Hasta el 2013, la compañía ha venido invirtiendo cerca de cuarenta y tres salarios mínimos legales vigentes en la actividad de toma de inventarios para todas las líneas de productos.

**Figura 36. Estado actual de los procesos logísticos desarrollados en COMERTEX S.A. y la solución planteada con la tecnología RFID**



Fuente: Tomado de (Gutiérrez & Vargas, 2014).

Aunque exista tal importancia en la toma de inventarios, se debe modelar una estructura que permita controlar de manera sistemática los procesos logísticos internos, de tal forma que la tecnología se presente como una herramienta útil en la cadena logística del centro de distribución. Por este motivo se realizó un estudio complementario que arroja como resultado el siguiente diagrama donde se describen el ciclo de cada uno de los productos y los posibles inconvenientes para cada uno de los subprocesos realizados. Para exponer la viabilidad en la implementación de la tecnología RFID en la gestión de los procesos internos de la empresa COMERTEX S.A., se analizó los resultados obtenidos a través de la ejecución del piloto de esta manera se compara los resultados de los procesos realizados de forma manual versus los resultados utilizando la tecnología RFID en

los procesos de recepción, alistamiento, despacho e inventario físico; teniendo en cuenta aspectos como número de operarios, tiempo, trámites y costos.

**4.1.1. Descripción de la metodología para cada proceso dentro de la prueba piloto.** Partiendo de las principales falencias y la identificación de la oportunidad en cada proceso. Se describe el paso a paso dentro de la operación, las principales ventajas de usar la tecnología y como se va articulando cada solución planteada dentro de la operación logística interna dentro de la compañía. Los aportes más influyentes sobre la formulación de la solución fueron concluidos con el aporte del proyecto de grado titulado “Diseño e implementación de herramientas tecnológicas aplicadas a la optimización de procesos logísticos de la empresa COMERTEX S.A.” asesorado por el autor (Gutiérrez & Vargas, 2014).

**4.1.1.1. Recepción de la mercancía.** El proceso comienza por la llegada de un vehículo al muelle de descarga, allí se estiba la mercancía de acuerdo al grupo de producto y se prepara para el etiquetado. Para la prueba piloto, la recepción del producto se identifica como el proceso más relevante, no por ser el de mayor impacto sino por ser el punto de partida en la identificación única e inequívoca de los productos dentro del centro de distribución; aquí se etiqueta cada uno de los productos con un número único, luego se ingresan a la operación siguiendo este conjunto de etapas:

- Se genera la orden de compra en el sistema piloto.
- El sistema genera un conjunto de etiquetas para ser adherido a cada uno de los productos.
- Luego de tener cada uno de los productos identificados, se debe pasar la mercancía por un portal referido como portal de entrada; en ésta verificación se actualiza el inventario del centro de distribución y el producto puede ser adquirido por los clientes.

- En un terminal portátil debe actualizarse la información de ingreso de mercancía y es con éste dispositivo que debe asignar el lugar de almacenamiento dentro de la bodega.

De acuerdo con el planteamiento de la metodología para la recepción de mercancía se debe instalar un portal de lectura para el ingreso de mercancía y se hace necesario tener disponibilidad de al menos una terminal portátil para la asignación de ubicación. Por otra parte, se debe adquirir una impresora RFID que asigne la información física y electrónica a cada producto.

**4.1.1.2. Alistamiento.** El alistamiento de pedidos es un proceso clave en la cadena de suministro y está relacionado con el nivel de servicio y satisfacción del cliente. Por otra parte, el buen manejo de la información en este proceso permite optimizar los tiempos de rutas, el número de rollos a seleccionar y la maquinaria a utilizar. Por lo anteriormente descrito, para la prueba piloto se plantea los siguientes pasos:

- En el sistema se debe ingresar las cantidades del pedido según las referencias que son administradas dentro del piloto.
- Se asigna el operario que debe alistar el pedido, el sistema advierte la ubicación y el orden en la recolección de los productos.
- El operario debe trasladar los productos a la zona de despacho.

Con este planteamiento se requiere que cada uno de los operarios cuente con una terminal portátil para el alistamiento de los pedidos.

**4.1.1.3. Despacho.** El proceso se convierte en el punto final del flujo de mercancía dentro del centro de distribución, encontrándose los productos a conformidad del cliente. Condicionados por establecer un mecanismo de control de

pérdidas de productos y la satisfacción del cliente se describe la siguiente metodología:

- Se hace pasar el pedido a través del portal de salida para que se realice la verificación automática de los pedidos a despachar.
- Nuestro sistema verifica que las cantidades correspondan a los pedidos que se desean enviar. En caso contrario debe enviar una alerta e identificar el producto que está pasando sin autorización.
- Inmediatamente el producto se verifica con el portal de salida, el sistema descuenta estos productos del inventario y libera el espacio que estaba ocupando para ser asignado a un nuevo producto.

Bajo el planteamiento, para el proceso de despacho se requiere al menos un portal de salida para el control de los productos.

**4.1.1.4. Control de Inventarios.** Es un proceso que aparentemente no es parte de la logística interna de un centro de distribución, pero es quien determina los objetivos de la gestión de almacenes, definiendo indicadores de almacenamiento y las decisiones en torno al flujo de los productos. Pensando en una alternativa dinámica que permita evaluar de forma práctica la implementación de la tecnología se propuso lo siguiente:

- En el sistema se asigna los espacios de almacenamiento donde se desea verificar el inventario.
- En las terminales portátiles aparecen las cajoneras asignadas a cada uno de los operarios.
- En el sistema se genera una relación de información leída versus la información que se tiene de los productos; es identificada por un código de colores.

Para obtener resultados sobresalientes, se requiere el uso de terminales portátiles por cada operario asignado a esta labor.

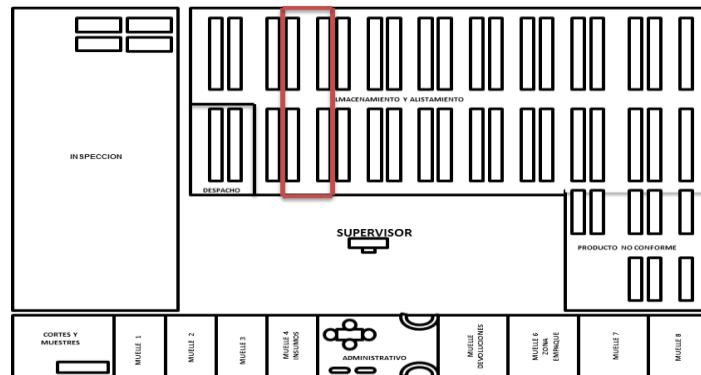
## **4.2. IMPLEMENTACIÓN DE LA TECNOLOGÍA EN LOS PRINCIPALES PROCESOS LOGÍSTICOS**

Luego de identificar las necesidades en cada uno de los procesos del centro de distribución de la empresa, se define las características de los equipos adecuados para la prueba piloto y para futuras implementaciones en la compañía. La totalidad de la selección de los equipos ha sido concertada por el equipo multidisciplinar del proyecto de investigación, aportando sugerencias que generan valor a cada uno de los procesos.

**4.2.1. Esquema técnico de la prueba piloto.** Entre los principales retos a resolver ha sido el ubicar la prueba piloto dentro de la operación sin interferir en ella. La ubicación estratégica de equipos de lectura RFID y de cómputo, así como la selección de un grupo de productos con alta rotación para evaluar la eficiencia del sistema. Se decide trabajar con productos telas sintéticos que en la fecha de la prueba piloto tenían alta rotación y un número de unidades manejable. Por otro parte, se determina la necesidad de controlar el flujo de mercancía ubicando dos portales de lectura para el ingreso y salida de productos.

**4.2.1.1. Ubicación de la prueba piloto.** La ubicación de productos en el centro de distribución está asociada con la rotación de los productos, los pasillos que están más cercanos a el área de inspección y despacho son asignados para los productos con mayor demanda en el mercado, la selección de estos pasillos obedece a dos factores importantes: el primero, la proximidad con los muelles recepción y despacho y segundo, el diámetro de los productos de trabajo; se seleccionan este familia de productos con diámetro superior a 20 centímetros.

**Figura 37. Ubicación de la prueba piloto (pasillos 15 y 16)**



Fuente: Autor

El sistema de información piloto se ubica contiguo del supervisor general de la bodega (personal encargado de asignar las tareas a los operarios y principal ente de control logístico interno); desde allí se asignan las órdenes de inspección y despacho de productos. Nuestro objetivo de ubicación ha sido contar con toda la información y experiencia del personal de la empresa para evitar falencias en la prueba piloto y tener control de toda la operación asignada a nuestros pasillos.

**4.2.1.2. Administración de la información y conectividad de los dispositivos.** En cuanto a la administración de la información se contrata un servicio profesional para desarrollar un sistema piloto de sistema de administración de bodegas (WMS; por sus siglas del inglés) alineado con los objetivos del proyecto macro; aquí se gestiona el control logístico de los productos durante la prueba piloto, es decir, gestión de órdenes de compra, administración de espacios de almacenamiento, control de inventarios e inspección de salida de productos.

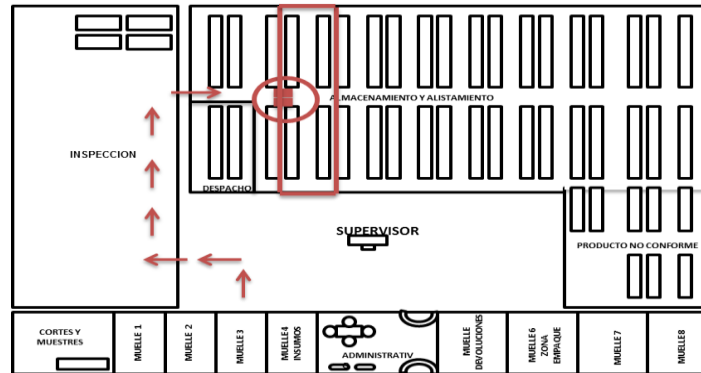
El sistema WMS piloto permite la comunicación con cada uno de los dispositivos para ejecutar las tareas programadas. Desde el sistema se asigna la información física y digital a imprimir en las etiquetas, se establece comunicación de la información con los terminales portátiles para la asignación de tareas y la transferencia de la información adquirida de los productos, también se comunica con los portales de entrada y salida para mantener actualizado el sistema de información.

**4.2.1.3. Portales de lectura para el caso COMERTEX S.A.** El objetivo fundamental de un portal de lectura electrónica es garantizar la confiabilidad de la información suministrada al sistema de información para evitar problemas logísticos, por tal motivo se debe garantizar un buen diseño técnico que se ajuste a este objetivo. El diseño de un portal de lectura se puede sustentar bajo un ambiente simulado, así como un ambiente experimental donde se ajusten los parámetros de lectura y de la antena al escenario.

Teniendo en cuenta que solo se trataba de una prueba piloto, se adecua un portal RFID que permita la lectura de información contenida en los productos pero que no interfiera con la operación de la bodega y que el impacto en la infraestructura física no sea relevante. Partiendo de un conjunto de técnicas de análisis descritas en los capítulos anteriores, se concentró los esfuerzos en diseñar un portal que cumpla con las restricciones que presenta el escenario.

Durante la prueba piloto, el muelle de descarga de mercancía colapsa en capacidad; esto debido a que el flujo diario de mercancía superaba los mil rollos de tela entre las diferentes líneas. El portal de entrada se sitúa en una ubicación estratégica para evitar interferir en la operación, bajo el pasillo horizontal cerca entre los pasillos 16 y 17. La mercancía a almacenar en los pasillos 15 y 16 debe transportarse desde el muelle 3 hasta el portal de entrada, tal como se muestra en la Figura 38.

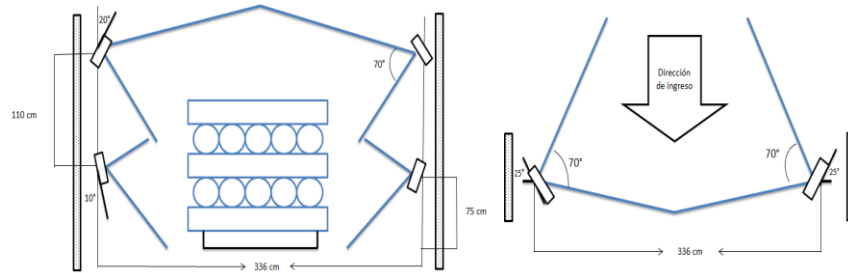
**Figura 38. Ubicación del portal de entrada.**



Fuente: Autor.

Luego de establecer la ubicación del portal de entrada, se establece la orientación de las antenas de lectura, teniendo en cuenta el ancho de haz ( $70^\circ$  axial y azimutal) y las condiciones del entorno. Para el caso del portal de entrada, la distancia de separación entre antenas la define el lugar donde se ubicó (bajo la estructura metálica de las cajoneras de almacenamiento), por otra parte, se define la orientación en relación con la dirección de movimiento con el objetivo de que la energía radiada por la antena sea captada por la antena de *tag* RFID; dado que las etiquetas siempre se ubican en la base cilíndrica del rollo de tela y los rollos se trasladan dentro de la bodega sobre una estiba en la formación que se presenta en la Figura 39 (Izq.).

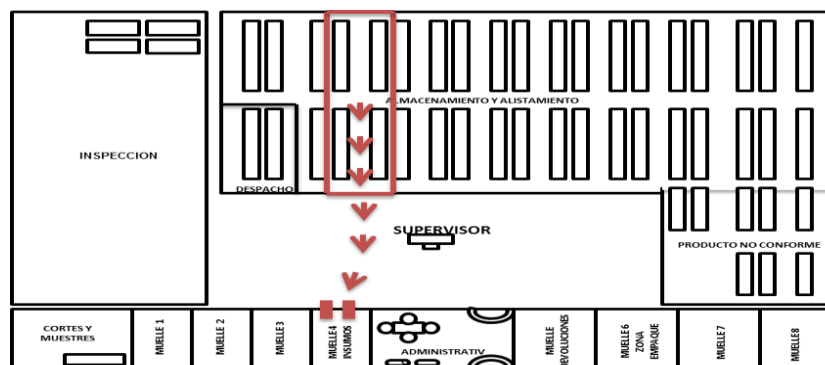
**Figura 39. Diseño técnico del portal de entrada. Vista frontal (Izq.) vista superior (Der.)**



Fuente: Autor

En el muelle de despachos, se ubica el portal de salida con el objetivo de verificar los pedidos que van a ser enviados a los clientes. El portal de salida se sitúa aledaño a la estructura metálica que se tiene en el centro de distribución para diferenciar las zonas de carga y descargue de mercancía con el resto de la bodega.

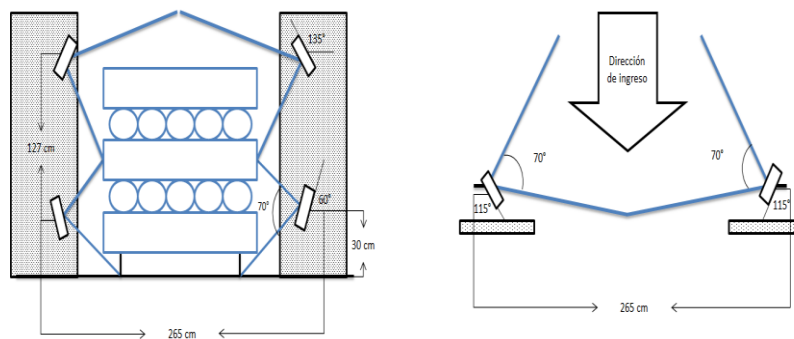
**Figura 40. Ubicación del portal de salida**



Fuente: Autor

El margen de diseño técnico del portal de salida se ve limitado por las dimensiones del sitio, es decir, el tamaño promedio de un rollo de tela es 120 cm para pasar a través de una compuerta de 263 centímetros, esto nos obliga a tener consideraciones diferentes de diseño del portal de entrada.

**Figura 41. Diseño técnico del portal de salida.**



Fuente: Autor

**4.2.1.4. Recepción de mercancía.** Comparado con el modelo logístico que se maneja dentro de la empresa, no se observan mejoras sustanciales porque durante el piloto se realizó una metodología similar con la que se ha venido manejando; simulando para nosotros que este proceso es el proveedor de mercancía.

Como parte de las mejoras que aporta este escenario es la identificación única e inequívoca de los productos que dentro de un centro de distribución es una función que genera valor importante en la logística en términos de trazabilidad de los productos.

**4.2.1.5. Alistamiento.** Es el proceso de mayor sensibilidad dentro de la logística interna: en este proceso se incorpora la calidad de los productos, la agilidad en la entrega al cliente, el control de operarios, control de pérdidas, entre otros.

Los tiempos de alistamiento se reducen en gran medida al indicar la ubicación de los productos de manera individualizada, de esta manera se puede asignar la ruta óptima de recolección del perdido; en caso contrario se pierde tiempo en la búsqueda de mercancía y en los desplazamientos del operario.

Asociado a la trazabilidad del producto; el control de tareas permite hacer seguimiento a las operaciones individualizadas a cada operario y evaluar el rendimiento de la operación, además, el seguimiento de operaciones permite tener control de la calidad del producto por manipulación errónea del operario.

En el sector textil, la unidad logística es el rollo de tela que en la mayoría de casos no tiene asociada una longitud exacta para todos los productos; ocasionando inconvenientes en la asignación de cantidades al pedido. El control individualizado del producto permite mejorar el control en la cantidad de producto despachado, asociando un conjunto de rollos que se acerquen a la cantidad pedida sin realizar cortes en alguno de ellos.

**4.2.1.6. Almacenamiento.** La estructura de almacenamiento consiste en un conjunto de políticas que definen la ubicación de la mercancía dentro de la zona de almacenaje: relacionadas con las características físicas de los productos, el alistamiento de pedidos, el tamaño de la bodega, entre otros.

Actualmente, el centro de distribución presenta dificultades relacionadas con el uso eficiente de los espacios de acopio de mercancía, se estima que cerca de un treinta y cinco por ciento de la bodega se encuentra subutilizado por factores como: la compra de productos importados que necesitan ser recibidos en determinadas épocas del año en grandes volumen; este fenómeno además de causar saturación

en algunas zonas de la bodega, origina almacenamiento aleatorio y desproporcionado dentro de la bodega. Otros elementos que alteran en gran medida son las referencias de baja rotación, productos de baja demanda y la no homogeneidad de los rollos de tela; estos productos deben ser almacenados en un mismo lugar obligando a manejar bajas cantidades por espacio de almacenamiento para evitar problemas en el despacho.

Optimizar los espacios de una bodega de cerca de diez mil metros cúbicos de lugar de almacenamiento no es tarea sencilla, utilizando la RFID como herramienta de búsqueda de productos de manera inalámbrica se considera el punto de partida para mezclar cientos de productos de variadas referencias dentro del mismo espacio sin interferir en los procesos de despacho; contrario a las mejoras que se pueden lograr con herramientas de lectura directa (Caso código de barras). Se plantea que usando la RFID se puede llegar a optimizar los espacios hasta en un noventa por ciento.

**4.2.1.7. Control de inventarios.** De manera cuantitativa y cualitativa, en la intervención en el centro de distribución el proceso insignia de la prueba piloto fue asociado con los problemas de inventario; definido por la empresa como el principal reto a resolver en relación a la demanda de tiempo y dinero que en los últimos años se ha presentado en este proceso.

Hasta la fecha, los inventarios se han realizado anualmente por líneas de productos y asociado a cada línea se asigna una época del año, tratando de evitar la interferencia en la operación. Aunque el problema no se resuelve usando esta metodología porque el uso excesivo de horas hombre va en aumento con el paso del tiempo, según datos obtenidos en el último año la compañía utiliza un total de 3600 horas hombre en la toma de inventarios; esto corresponde al 8 % de las actividades anuales en la empresa. Adicionalmente, las actividades de toma de inventario se realizan en fechas especiales del año (semana santa, festividades de

fin de año, y fines de semana) ocasionando sentimientos negativos de los empleados durante esta actividad.

Pese a que la evaluación se desarrolló en un área del centro de distribución con productos de mayor rotación que a su vez son rollos de tamaño homogéneo; las mejoras fueron considerables obteniendo una eficiencia de hasta un noventa por ciento. En las demás líneas se tomó una cajonera como muestra, realizando el inventario con código de barras y RFID obteniendo mejoras significativas.

#### **4.3. EVALUACIÓN FINANCIERA DE LA IMPLEMENTACIÓN DE RFID Y COMPARACIÓN CON LA TECNOLOGÍA DE CÓDIGO DE BARRAS**

Los datos que se presentan en la toma de inventarios para la que se denomina “operación actual”, corresponde a información recopilada en la última toma de inventarios para cada una de las líneas de productos comprendida entre el año 2012 y 2013; realizada de forma manual bajo conteo de cantidades por referencia y diligenciamiento de planillas. Los tiempos que se relacionan en la comparación entre código de barras y RFID, es la información de tiempos tomados durante la prueba piloto, donde se determina los períodos promedio en toma de inventarios para las tecnologías de identificación por radiofrecuencia y código de barras.

Los tiempos en la captura de información con código de barras para la toma de inventarios se tomaron durante el primer día de la prueba, con la herramienta se establece el promedio de tiempos en un escenario (lectura de datos en productos no tejidos) y pequeñas muestras con productos que representan el cuello de botella en los procesos de inventarios actuales (línea punto); telas correspondientes a tejido tipo punto con rollos de diámetros pequeños y productos que resultarán siendo retos en la lectura con código de barras.

**Tabla 11. Tiempos registrados usando los tres métodos de captura de información.**

Línea	Actual [Horas]	Codigo de Barras [Horas]	RFID [Horas]
No tejido	15	7	0,23
Plano	30	15	0,42
Punto	120	27	1

Fuente: Autor

El escenario de evaluación de RFID se calculó progresivamente tomando muestras en cajoneras con las diferentes líneas de productos para establecer los indicadores de mejora. La muestra más representativa en la prueba piloto corresponde a los no tejidos y planos; productos que fueron asignados para la investigación, las líneas adicionales solo se tomó una muestra analizándola varias veces para establecer un valor promedio y estudiar las limitaciones bajo el mismo escenario.

El análisis económico que se presenta a continuación corresponde a una medida normalizada con respecto al salario mínimo legal vigente para el año 2013; año en el que se cerró el convenio entre la universidad, Colciencias y COMERTEX S.A.

**4.3.1. Relación de costos en la toma de inventarios.** La operación de toma de inventarios representa una de las actividades más importantes para la compañía, por tal motivo, año a año se realiza para establecer métricas que permitan establecer mejoras en el servicio al cliente, el manejo de la demanda de productos, entre otros.

**4.3.1.1. Costos de inventarios de la operación actual.** Actualmente, COMERTEX S.A. necesita un total de 3600 horas hombre para realizar la toma de

inventarios, el nivel de exactitud en los inventarios es bajo y poco confiable debido a la presencia de personal externo que no conoce la operación logística y factores técnicos que posibilitan en gran medida los errores humanos.

**Tabla 12. Resumen de costos en toma de inventarios en la operación actual.**

	Costo Unitario	Plano		Punto y no tejido		Hogar		Total
		Unid	Costo	Unid	Costo	Unid	Costo	
Días		6		2		1		
Personal total	0,057	61	17,87	33	4,08	18	0,89	22,84
Personal nuevo	0,057	39	13,30	11	1,25	0		
Horas Extras *	0,042	22	4,57	22	2,83	18	0,89	
Alimentación y Transporte	0,023		8,48		1,53		0,42	10,43
Montacargas	0,339	4	8,14	2	1,36	0		9,50
<b>TOTAL</b>			<b>34,49</b>		<b>6,97</b>		<b>1,31</b>	<b>42,77</b>

Fuente: Autor

En términos financieros, la compañía invierte más de veinticinco millones de pesos según el último reporte de costos en toma de inventarios evidenciado en la Tabla 1 para cada una de las líneas de producto que actualmente se comercializan. Se proyecta que el costo en toma de inventarios según la operación actual aumente a medida que pase el tiempo debido a los incrementos en los salarios de los trabajadores y otros elementos que hacen parte del procedimiento para la toma de inventarios.

**4.3.1.2. Análisis de la operación con código de barras en toma de inventarios.** El resultado negativo en los promedios de la operación de toma de inventario físico con la tecnología de código de barras, se refleja en la toma de

inventarios en cajoneras con cantidades que superan el centenar de productos (Línea de tejido plano) y cuyos rollos no superan diámetros de diez centímetros, cuando esto se presenta el proceso que se debe realizar se describe a continuación:

- Dos personas deben descargar todo el contenido de la cajonera sobre una estiba.
- Una persona debe llevar la mercancía hacia una estación de lectura (espacio libre de obstáculos).
- En la estación de lectura, debe estar dos personas encargadas de la manipulación de los productos y una persona encargada de la captura de información.
- Luego de la lectura, se debe regresar la mercancía a la cajonera de donde se extrajo.

**Tabla 13. Resumen de costos en toma de inventarios con Código de Barras.**

	Costo Unitario	Plano		Punto y no tejido		Hogar		Total
		Unid	Costo	Unid	Costo	Unid	Costo	
Días		5		2		1		
Personal	0,057	50	12,53	22	2,83	18	0,89	16,25
Personal nuevo	0,057	28	7,96	0	0,00	0	0,00	
Horas Extras *	0,042	22	4,57	22	2,83	18	0,89	
Alimentación y Transporte	0,023		5,79		1,02		0,42	7,23
Montacargas	0,339	4	6,79	2	1,36	0	0,00	8,14
<b>TOTAL</b>			25,11		5,21		1,31	31,62

Fuente: Autor.

En promedio para leer una cajonera se debe utilizar seis personas y los desplazamientos son largos, demandando pérdidas de tiempos y recurso. La

alternativa que se toma para este tipo de eventualidades es montar varias estaciones de trabajo con un promedio de seis personas por estación.

Resultado de la prueba piloto se evidenció que en productos no tejidos y otras líneas con productos con dimensiones radiales superiores a los diez centímetros, donde el proceso de toma de inventarios con la tecnología de código de barras es superior que el procedimiento actual. Resultado que se refleja en los costos y tiempos en la de toma de inventarios con respecto a la operación actual de cerca un treinta por ciento.

**4.3.1.3. Análisis de la operación con RFID en toma de inventarios.** El análisis de la operación con la tecnología de identificación por radiofrecuencia se encuentra soportado en la prueba piloto realizada en el CEDI principal de COMERTEX S.A. donde se estudió los tiempos de ejecución para la toma de inventario por cajonera para diferentes líneas de productos, pronosticando la actividad de inventario periódico necesita 10 personas, cuatro montacargas o elevadores y se debe llevar a cabo en un día no laboral (preferiblemente un domingo).

En consecuencia, de la prueba piloto se puede determinar que RFID elimina los cuellos de botella que se presentan con las otras metodologías, equilibrando los tiempos asignados para las tareas en las diferentes líneas de producto. Lo anterior se refleja en la disminución sustancial en la proyección de la prueba piloto sobre la operación con RFID.

**Tabla 14. Resumen de costos en toma de inventarios con RFID.**

	Plano, Punto, no tejido y hogar			Total
	Costo Unitario	Unid	Costo	
Dias		1		
Personal	0,057	10	1,29	1,29
Personal nuevo	0,057		0,00	
Horas Extras *	0,129	10	1,29	
Alimentación y Transporte	0,023		0,23	0,23
Montacargas	0,339	4	1,36	1,36
<b>TOTAL</b>			<b>2,88</b>	<b>2,88</b>

Fuente: Autor.

**4.3.1.4. Comparación de costos en la implementación de las diferentes metodologías.** Para describir de forma comparativa el resultado del análisis de costos en la implementación de las diferentes metodologías se presenta la siguiente tabla donde se puede establecer claramente las mejoras en cada una de ellas.

**Tabla 15. Resumen de los costos en toma de inventarios para los diferentes escenarios**

	Operación Actual	Operacion Codigo de Barras	Operación RFID
# Dias utilizados	9	8	1
# Dias paro operación	4	3	0
horas hombre	3600	2496	80
Personal	22,84	16,25	1,29
Alimentación y Transporte	10,43	7,23	0,23
Montacargas	9,50	8,14	1,36
<b>Costo Inventario</b>	<b>42,77</b>	<b>31,62</b>	<b>2,88</b>

Fuente: Autor.

Para establecer la base del análisis del capital invertido, en la Tabla 16 se presenta la proyección de los costos anuales en toma de inventarios con un incremento anual del 3% (el porcentaje mencionado se soporta en los incrementos de los salarios mínimos legales colombianos, costos de transporte y de la canasta familiar de los últimos diez años).

**Tabla 16. Proyección de los costos de la operación con las diferentes metodologías.**

<b>Año</b>	<b>Operación Actual [SMLV]</b>	<b>Código de Barras [SMLV]</b>	<b>RFID [SMLV]</b>
<b>1</b>	42,77	31,62	2,88
<b>2</b>	44,05	32,57	2,97
<b>3</b>	45,37	33,55	3,06
<b>4</b>	46,74	34,55	3,15
<b>5</b>	48,14	35,59	3,24
<b>6</b>	49,58	36,66	3,34
<b>7</b>	51,07	37,76	3,44
<b>8</b>	52,60	38,89	3,54
<b>9</b>	54,18	40,06	3,65
<b>10</b>	55,81	41,26	3,76

Fuente: Autor

**4.3.2. Análisis de inversión.** Para el estudio de la inversión inicial se ha proyectado el costo de cada uno de los recursos materiales y de software necesarios en la operación con las tecnologías de identificación de productos. Toda

la información consignada se establece fruto de la prueba piloto de captura de información con las tecnologías e información suministrada por parte del personal de la empresa donde se establece la visión de cada una de las operaciones; partiendo de la experiencia y seminarios de capacitación en cada una de las tecnologías.

**4.3.2.1. Inversión inicial Código de Barras.** Para el caso particular en la implementación de la tecnología de código de barras, se ha planteado utilizar algunos equipos que hasta la fecha hacen parte de la operación logística de la empresa, por ende, no se incluyen dentro de la inversión inicial. Teniendo en cuenta los elementos que compone la integración de la tecnología de código de barras con el sistema de información de la empresa y el rubro existente para el proyecto. En la Tabla 17, se presenta en detalle los costos globales de la inversión inicial, así como el aporte que se obtiene del proyecto cofinanciado por COLCIENCIAS, para concluir con el total adicional que debe invertir la compañía para que se logre la implementación del proyecto.

**Tabla 17. Resumen de la inversión inicial Código de Barras**

	Total [SMLV]	QUIDTEX [SMLV]	Por Invertir [SMLV]
Equipos	40,71	33,93	6,79
Red	25,45	25,45	0,00
Sistema	33,93	33,93	0,00
Etiquetas	5,43	0,00	5,43
Total Inversión	105,51	93,30	12,21

Fuente: Autor.

#### 4.3.2.3. Inversión inicial RFID

De común acuerdo con el personal de COMERTEX S.A. vinculados con el proyecto, se concluye que el mínimo de equipos, materiales e insumos necesarios para la operación son los que se presentan en detalle en la Tabla 18. Es importante resaltar que cada uno de los valores cuantitativos del proyecto es producto de cotizaciones con empresas con representación internacional que ofrecen garantía de calidad y buen servicio.

**Tabla 18. Resumen de la inversión inicial RFID.**

	Total [SMLV]	QUIDTEX [SMLV]	Por Invertir [SMLV]
Equipos	201,28	109,82	91,46
Red	25,45	25,45	0,00
Sistema	33,93	33,93	0,00
Etiquetas	73,83	0,00	73,83
Total Inversión	334,49	169,19	165,29

Fuente: Autor.

Teniendo en cuenta cada uno de los elementos que compone la integración de tecnologías con el sistema de información de la empresa y el rubro existente para el proyecto. En la Tabla 18 se presenta en detalle los costos globales de la inversión inicial, así como el aporte que se obtiene del proyecto cofinanciado por COLCIENCIAS, para concluir con el total adicional que debe invertir la compañía para que se logre la implementación del proyecto.

**4.3.1. Análisis de beneficios en la operación.** La propuesta en la que se establecen los beneficios de las tecnologías de captura de información de productos se encuentra soportada en la reducción de personal en la operación logística de la empresa y la reducción de gastos en la toma de inventarios.

**Tabla 19. Beneficios anuales esperados con las dos tecnologías**

Año	Código de Barras [SMLV]	RFID [SMLV]
1	31,0	79,6
2	31,9	82,0
3	32,9	84,5
4	33,9	87,0
5	34,9	89,6
6	36,0	92,3
7	37,0	95,1
8	38,1	97,9
9	39,3	100,9
10	40,5	103,9

Fuente: Autor.

Con relación a la reducción en costos de personal, se determinó que existe una clara diferencia para cada una de las tecnologías; para la tecnología de código de barras se establece que al implementar la tecnología se reduce una persona que actualmente se encarga de generar los despachos. Por otra parte, con la implementación de la tecnología de identificación por radiofrecuencia se determina que dos personas dejarían de participar en la operación una de ellas la encargada de generar los despachos y un auxiliar de logística que se encarga de la inspección de la salida de los pedidos. Actualmente, el costo aproximado por cada persona que interviene en la operación es de 20 salarios mínimos legales vigentes por año. Adicional a esto, se incluye la reducción de costos para la toma de inventarios que

se sustenta en el estudio que se realizó con la prueba piloto, estudio que se ve reflejado en los costos que se presentan en (tabla proyección de los costos de inventario). Los beneficios calculados en la siguiente tabla son producto de comparar los costos de operación logística en la empresa con cada tecnología versus los costos de la operación actual.

Resumiendo, la descripción cuantitativa de la tabla anterior, se debe afirmar que para código de barras la operación de toma de inventarios retorna un beneficio del 30 % mientras la operación logística de despachos aporta un 70 %. Por parte de la RFID, el beneficio de toma de inventarios aporta un 50 % al retorno de la inversión y el otro 50 % lo retorna el proceso de despacho con la disminución de dos operarios.

**4.3.2. Análisis de retorno del capital invertido.** Teniendo como referencia los datos presentados en el análisis de beneficios y de costo, se establece la relación costo-beneficio para cada una de las tecnologías. La tecnología de captura de datos de productos con código de barras representa mejoras significativas con respecto a los procesos actuales, pero los beneficios no son suficientes para superar los costos proyectados para el proceso de toma de inventarios, lo anterior indica que, aunque se mejore los procesos, la empresa tendrá que invertir dinero en los procesos de toma de inventarios y la recuperación del capital invertido no se alcanza con el proceso de toma de inventarios.

La tecnología de captura de datos de productos RFID presenta mayor beneficio que los costos de operación. Lo anterior es un indicador favorable para el proyecto debido a que la compañía puede soportar los costos necesarios para la operación con esta tecnología (principalmente el costo de etiquetas de RFID); directamente con los procesos de toma de inventarios y de alistamiento. Adicionalmente, la compañía puede soportar gradualmente los costos iniciales de implementación.

En la Tabla 20, se presenta los valores normalizados al SMLV (año 2013) de la relación beneficio-costo en la implementación de las dos tecnologías, mostrando una superioridad del beneficio sobre el costo; indicador que se sustenta sobre la baja eficiencia de la operación actual. Adicionalmente, se muestra el comportamiento de los beneficios a lo largo del tiempo tomando como referencia los procesos de alistamiento y toma de inventarios. De acuerdo con los beneficios económicos del proyecto cofinanciado por COLCIENCIAS la barrera de la inversión se supera alrededor de los cuatro años. Tomando como punto de partida la inversión inicial, se espera que el capital invertido retorne en seis años con los beneficios esperados en los procesos logísticos mencionados. Es importante resaltar que los beneficios de la tecnología de código de barras en los procesos de toma de inventarios son insuficientes y se debe realizar una inversión adicional para dicho proceso. De acuerdo con lo anterior expuesto, no se recupera el capital invertido y la inversión se cataloga como inversión operativa.

**Tabla 20. Resumen Costos y beneficios entre las dos tecnologías**

Año	Código de Barras		RFID	
	Costo [SMLV]	Beneficio [SMLV]	Costo [SMLV]	Beneficio [SMLV]
1	31,62	31,0	2,88	79,6
2	32,57	31,9	2,97	82,0
3	33,55	32,9	3,06	84,5
4	34,55	33,9	3,15	87,0
5	35,59	34,9	3,24	89,6
6	36,66	36,0	3,34	92,3
7	37,76	37,0	3,44	95,1
8	38,89	38,1	3,54	97,9
9	40,06	39,3	3,65	100,9
10	41,26	40,5	3,76	103,9

Fuente: Autor.

Con base en los beneficios del plan de mejoras en el proceso de almacenamiento, se muestra un panorama alentador para cada uno de los proyectos de implementación de tecnologías de captura automática de datos en productos soportadas en un sistema de gestión ágil y eficiente, se demuestra que los beneficios de las dos tecnologías superan el capital invertido en el primer año.

El problema con el modelo de almacenamiento actual representa una, esto representado en una ventaja operativa que favorece la implementación de una estrategia logística, soportada en tecnologías de captura automática de datos, por tal motivo, los beneficios que se muestran en dicho proceso soportan todo tipo de inversión.

## 5. CONCLUSIONES Y FUTURAS INVESTIGACIONES

La metodología desarrollada para la evaluación de la tecnología de identificación por radiofrecuencia, permitió el análisis de los parámetros técnicos mínimos necesarios en la integración de diversos escenarios logísticos, mediante el diseño e implementación de un laboratorio de logística y la ejecución de una prueba piloto en un escenario industrial al interior de la empresa COMERTEX S.A.

La metodología desarrollada permitió la optimización de los sistemas de lectura RFID en distintos escenarios, donde los resultados más determinantes tuvieron relación con: el proceso sistemático de selección de *tag*, el análisis de lecturas con antenas de diferente polarización, la influencia de protocolos de lectura en la adquisición de información, la evaluación de interferencia entre lectores contiguos, la influencia de los materiales en las lecturas, la localización de *tag* en los productos y el análisis de interferencia por fuentes distintas a RFID.

Se diseñó e implementó el laboratorio de logística RFID de la Universidad Industrial de Santander, planteado como un escenario flexible que permita analizar los principales retos en la adopción de la tecnología en la cadena de suministro regional basado en la diversificación de los escenarios logísticos desarrollados para cada uno de los eslabones de la cadena de suministro, fortaleciendo el nivel de penetración de la tecnología RFID. Además, se proyecta como un escenario de innovación soportado en la inclusión de tecnologías emergentes en la logística minorista.

De acuerdo al análisis de las ventajas esperadas para cada uno de los escenarios definidos, la tecnología RFID presentó mayor beneficio económico comparado con la implementación de tecnologías de código de barras, estimando beneficios anuales al implementar la tecnología de RFID en toma de inventarios amortizando el costo de etiquetas y actividades asociadas a este proceso.

El principal trabajo futuro, soportado en el conocimiento de las ventajas de implementar la RFID en la cadena de suministro colombiana, se debe considerar, la elaboración de un modelo de negocios para adaptar a las necesidades de empresas con deseos de mejorar los procesos logísticos internos o externos. No solo reconociendo las ventajas técnicas, sino que se debe reconocer las ventajas operativas (aumento de la eficiencia de recursos humanos y de materiales) para potencializar el uso de las herramientas tecnológicas dentro de cada organización.

Trabajos futuros secundarios, se plantean escenarios de trazabilidad de operaciones y monitoreo en equipos utilizando tecnologías de seguimiento en tiempo real marcado como tendencia en la logística de la cadena de suministro(S. Jeon, Choi, Kim, & Hong, 2010; Ma, Rtls, & Components, 2011).

Actualmente, el índice de desempeño logístico para Colombia se encuentra en el puesto 92 a nivel mundial por debajo de todos los países latinoamericanos. Este indicador plantea un escenario para impulso de la investigación sobre la logística nacional y regional.

“Las futuras investigaciones sobre RFID aún continúan abiertas; RFID tiene la habilidad de transformar la logística en diferentes campos”.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aire, L. B. (2012). RFID Standards. In *RFID in Libraries: A Step toward Interoperability* (Vol. 1, p. 1). Retrieved from <http://rfid.net/basics/186-iso-rfid-standards-a-complete-list>
- Arnitz, D., Muehlmann, U., & Witrissal, K. (2012). Characterization and modeling of UHF RFID channels for ranging and localization. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 60(5), 2491–2501. <https://doi.org/10.1109/TAP.2012.2189705>
- Azpilicueta, L., Astrain, J. J., Landaluce, H., Angulo, I., Perallos, A., Villadangos, J., & Falcome, F. (2012). Analysis of an UHF-RFID system in a metallic closed vehicle. *6th European Conference on Antennas and Propagation (EUCAP)*, (1), 2009–2012.
- Bertocco, M., Chiara, A. D., & Sona, A. (2010). Performance evaluation and optimization of UHF RFID systems.
- Bueno, L. (2010). *Análisis del rendimiento de tags y lectores RFID UHF*. Retrieved from [nextpoint.com](http://nextpoint.com)
- Buyurgan, N., & Mendoza, A. (2008). Creating a Learning Environment for RFID Education. *Decision Sciences Journal of Innovative Education*, 6(2), 257–263. <https://doi.org/10.1111/j.1540-4609.2008.00172.x>
- Craig, A. (2014). Regulatory status for using RFID in the EPC Gen 2 band ( 860 to 960 MHz ) of the UHF spectrum. *Gs1*, 928(May), 1–22. <https://doi.org/10.1049/ep.1982.0113>
- D'Errico, R. (2012). An indoor backscattering channel characterization for UWB

- passive RFID applications. *Proceedings of 6th European Conference on Antennas and Propagation, EuCAP 2012*, 7, 1169–1173. <https://doi.org/10.1109/EuCAP.2012.6206354>
- Erick C., Jones; Christopher A., C. (2007). Standards Organizations and RFID Standards. In *RFID in Logistics: A Practical Introduction* (pp. 89–108). CRC Press 2007. Retrieved from <http://www.crcnetbase.com/isbn/9781420009361>
- Felice, A., Barthel, H., Burstein, L., Dietrich, P., Duker, J., Hogan, B., & Us, G. S. (2007). The EPCglobal Architecture Framework. *EPCglobal*, 1–64.
- Ferrero, R., Gandino, F., Montrucchio, B., & Rebaudengo, M. (2015). A novel simulator for RFID reader-to-reader anti-collision protocols, 59–64.
- García, J., Arriola, a., Casado, F., Chen, X., Sancho, J. I., & Valderas, D. (2012). Coverage and read range comparison of linearly and circularly polarised radio frequency identification ultra-high frequency tag antennas. *IET Microwaves, Antennas & Propagation*, 6(9), 1070. <https://doi.org/10.1049/iet-map.2011.0529>
- Gil, H., & Quintana, E. (2013). *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE LABORATORIO EN PROCESOS LOGÍSTICOS UTILIZANDO TECNOLOGÍAS DE IDENTIFICACIÓN AUTOMÁTICA DE DATOS* (Vol. 1). Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Retrieved from [http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/pags/cat/popup/pa\\_detalle\\_matbib.jsp?parametros=166340%7C%7C1%7C10](http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/pags/cat/popup/pa_detalle_matbib.jsp?parametros=166340%7C%7C1%7C10)
- Gutiérrez, L., & Vargas, G. (2014). *Diseño e implementación de herramientas tecnológicas aplicadas a la optimización de procesos logísticos de la empresa COMERTEX S.A.* Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.
- Hua, Z. Y., Ke, W., & Jian, Z. (2010). RFID Integration Re-engineering of Supply Chain. *2010 Third International Symposium on Information Science and Engineering*, 302–305.

- Huang, C., Lo, L., Wang, W., & Chen, H. (2008). A study for optimizing the reading rate of RFID tagged cartons in palletizing process. *2008 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, 1138–1142. <https://doi.org/10.1109/IEEM.2008.4738048>
- Inaba, T. (2007). Impact Analysis of RFID on Financial Supply Chain Management. *2007 IEEE International Conference on Service Operations and Logistics, and Informatics*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/SOLI.2007.4383927>
- Jeon, K. Y., & Cho, S. H. (2009). Performance of RFID EPC C1 Gen2 anti-collision in multi-path fading environments. In *2009 2nd International Conference on Communication Theory, Reliability, and Quality of Service, CTRQ 2009* (pp. 125–128). <https://doi.org/10.1109/CTRQ.2009.25>
- Jeon, S., Choi, M., Kim, G., & Hong, B. (2010). Localization of Pallets Based on Passive RFID Tags. *2010 Seventh International Conference on Information Technology: New Generations*, 834–839. <https://doi.org/10.1109/ITNG.2010.193>
- Karmakar, N. C. (2010). *Handbook of Smart Antennas for RFID Systems. Handbook of Smart Antennas for RFID Systems*. <https://doi.org/10.1002/9780470872178>
- Khoo, B. (2010). RFID usage issues in the supply chain. *2010 Wireless Telecommunications Symposium (WTS)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/WTS.2010.5479669>
- Kim, D. Y., Yoon, H. G., Jang, B. J., & Yook, J. G. (2009). Effects of reader-to-reader interference on the UHF RFID interrogation range. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 56(7), 2337–2346. <https://doi.org/10.1109/TIE.2009.2012451>
- Korkmaz, E., & Ustundag, A. (2007). Standards, security & privacy issues about radio frequency identification (RFID). *2007 1st Annual RFID Eurasia*.

<https://doi.org/10.1109/RFIDEURASIA.2007.4368148>

- Landt, J. (2005). The history of RFID. *IEEE Potentials*, 24(4), 8–11. <https://doi.org/10.1109/MP.2005.1549751>
- Li, G., Yang, H., Sun, L., & Sohal, A. S. (2009). The impact of IT implementation on supply chain integration and performance. *Intern. Journal of Production Economics*, 120(1), 125–138. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2008.07.017>
- Liu, L., Chen, Z., Yan, D., Lu, Y., & Wang, H. (2010). RFID in Supply Chain Management. *2010 International Conference on E-Business and E-Government*, 3279–3282.
- Lutton, E., Skinner, G., & Regan, B. (2008). RFID Rationale and Deployment Methodology. *Proceedings of the 8th WSEAS International Conference on APPLIED COMPUTER SCIENCE (ACS'08)*, 1, 211–216.
- Ma, X., Rtlis, A. T. W., & Components, S. (2011). The Application of Wi-Fi RTLS in Automatic Warehouse Management System, (August), 64–69.
- Macro, J. G., & Salmi, R. E. (2002). A simulation tool to determine warehouse efficiencies and storage allocations. *Proceedings of the Winter Simulation Conference*, 2, 1274–1281. <https://doi.org/10.1109/WSC.2002.1166388>
- Michael, K., & McCathie, L. (2005). The Pros and Cons of RFID in Supply Chain Management. *International Conference on Mobile Business (ICMB'05)*, 623–629. <https://doi.org/10.1109/ICMB.2005.103>
- Nawaz, F., Jeoti, V., Awang, A., & Drieberg, M. (2013). Reader to Reader Anticollision Protocols in Dense and Passive RFID Environment, (November), 468–473.
- Peng, J. (2010). Identification and solution to bottleneck of supply chain based on Flexsim. In *2010 International Conference on Intelligent Computation*

- Technology and Automation, ICICTA 2010* (Vol. 2, pp. 461–465).  
<https://doi.org/10.1109/ICICTA.2010.422>
- Pouzin, A., Vuong, T. P., Tedjini, S., Pouyet, M., Perdereau, J., & Omni-ID. (2009). Measurement of Differential Radar Cross Section of UHF RFID Tags, 1232–1234.
- Prasse, C., Skibinski, S., Weichert, F., Stenzel, J., Müller, H., & Ten Hompel, M. (2011). Concept of automated load detection for de-palletizing using depth images and RFID data. *Proceedings - 2011 IEEE International Conference on Control System, Computing and Engineering, ICCSCE 2011*, 249–254.  
<https://doi.org/10.1109/ICCSCE.2011.6190531>
- Standard, R. (2010). Low Level Reader Protocol ( LLRP ).
- Stockman, H. (1948). Communication by Means of Reflected Power. *Proceedings of the IRE*, 36(10), 1196–1204. <https://doi.org/10.1109/JRPROC.1948.226245>
- Tajima, M. (2007). Strategic value of RFID in supply chain management. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 13(4), 261–273.  
<https://doi.org/10.1016/j.pursup.2007.11.001>
- Technologies, A. (2010). *Evaluating Fluorescent Lighting Interference on Passive UHF RFID Systems*. Retrieved from [www.agilent.com/find/hsa](http://www.agilent.com/find/hsa)
- Vaidya, N., & Das, S. R. (2008). RFID-based networks. *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review*, 12(1), 2.  
<https://doi.org/10.1145/1374512.1374514>
- Yue, D., Wu, X., Hao, M., & Bai, J. (2011). A cost-benefit analysis for applying RFID to pharmaceutical supply chain. *ICSSSM11*, 1–5.  
<https://doi.org/10.1109/ICSSSM.2011.5959515>