



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

TEMA:

**Estudio de la tecnología de identificación por radiofrecuencia (RFID),
sus aplicaciones y la convergencia con el internet de las cosas (IoT)**

AUTOR:

Játiva Gutiérrez, Cristian Luis

Trabajo de Titulación

previo a la Obtención del Título de:

INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

TUTOR:

Philco Asqui, Luis Orlando

Guayaquil, Ecuador

13 de Septiembre del 2016



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Sr. **Játiva Gutiérrez, Cristian Luis** como requerimiento para la Obtención del Título de **INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES**.

TUTOR

Philco Asqui, Luis Orlando

DIRECTOR DE CARRERA

Heras Sánchez, Miguel Armando

Guayaquil, a los 13 días del mes de Septiembre del año 2016



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Játiva Gutiérrez, Cristian Luis**

DECLARÓ QUE:

El trabajo de titulación “**Estudio de la tecnología de identificación por radiofrecuencia (RFID), sus aplicaciones y la convergencia con el internet de las cosas (IoT)**” previo a la Obtención del Título de **INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

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

Guayaquil, a los 13 días del mes de Septiembre del año 2016

EL AUTOR

Játiva Gutiérrez, Cristian Luis



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

AUTORIZACIÓN

Yo, Játiva Gutiérrez, Cristian Luis

Autorizó a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: **“Estudio de la tecnología de identificación por radiofrecuencia (RFID), sus aplicaciones y la convergencia con el internet de las cosas (IoT)”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 13 días del mes de Septiembre del año 2016

EL AUTOR

Játiva Gutiérrez, Cristian Luis

REPORTE DE URKUND

Documento [TT RFID Cristian Jativa.docx](#) (D21468582)
Presentado 2016-08-22 19:16 (+02:00)
Presentado por orlandophilco_7@hotmail.com
Recibido orlando.philco.ucsg@analysis.orkund.com
Mensaje TESIS JATIVA [Mostrar el mensaje completo](#)
3% de esta aprox. 42 páginas de documentos largos se componen de texto presente en 16 fuentes.

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES TEMA:

Estudio de la tecnología de identificación por radiofrecuencia (RFID), sus aplicaciones y la convergencia con el internet de las cosas (IoT) AUTOR: Cristian Luis Játiva Gutiérrez

Trabajo de Titulación previo a la obtención del grado de INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES TUTOR: Philco Asqui, Luis Orlando Guayaquil, Ecuador 12 de Septiembre del 2016

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO

CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

CERTIFICACIÓN Certificamos que el presente trabajo

fue realizado en su totalidad por el Sr. Cristian Luis Játiva Gutiérrez como requerimiento para la obtención del título

de INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES. TUTOR _____ Philco Asqui, Luis Orlando

DIRECTOR DE CARRERA _____ Heras Sánchez, Miguel Armando

Urkund Report - TT RF....pdf

Inicio

ESD-USB (K:)

TT RFID Cristian Jativ...

TESIS RONNY TOAPA...

Anexo.1_PA

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación a mis padres, Ana Gutiérrez y Luis Játiva, por el constante apoyo y sacrificio que han hecho, por siempre aconsejarme y motivarme para que pueda alcanzar esta tan anhelada meta. A mis hermanos, Cyndi y Kevin, por siempre estar conmigo y apoyarme en cualquier cosa que necesitaba.

EL AUTOR

Játiva Gutiérrez, Cristian Luis

AGRADECIMIENTO

Agradezco a toda mi familia en especial a mis padres y mis hermanos son los pilares fundamentales en mi vida que me motivaron a alcanzar mi meta de convertirme en un profesional. A mis compañeros de universidad por el esfuerzo en conjunto realizado, a los profesores de la universidad por su enseñanza y apoyo, a mi tutor por haberme guiado en el desarrollo de este trabajo de titulación, y a todos mis amigos en general.

EL AUTOR

Játiva Gutiérrez, Cristian Luis



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Philco Asqui, Luis Orlando

TUTOR

Heras Sánchez, Miguel Armando

DIRECTOR DE CARRERA

Palacios Meléndez, Edwin Fernando

COORDINADOR DE TITULACIÓN

Índice General

Índice de Figuras	XIII
Índice de Tablas	XVI
Resumen	XVII
Abstract	XVIII
CAPÍTULO 1: GENERALIDADES	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Planteamiento del Problema	2
1.3. Objetivos de la Investigación.....	2
1.3.1. Objetivo General.....	2
1.3.2. Objetivos Específicos	2
1.4. Justificación.....	3
1.5. Hipótesis	3
1.6. Metodología	3
CAPÍTULO 2: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	4
2.1. Antecedentes históricos de la tecnología RFID.....	4
2.2. Tecnología RFID	6
2.3. Principios físicos RFID	7
2.3.1. Electricidad	7
2.3.2. Magnetismo	7
2.3.3. Electromagnetismo	7
2.3.4. Espectro electromagnético	8
2.3.5. Radiofrecuencia.....	8
2.3.6. Elementos de una comunicación por radiofrecuencia	9
2.4. Etiquetas RFID (<i>tags</i>).....	10
2.4.1. Etiquetas Activas	10
2.4.2. Etiquetas Pasivas	11

2.4.3.	Etiquetas Semipasivas	13
2.4.4.	Banda de Frecuencias de las Etiquetas RFID	14
2.4.5.	Antenas en Etiquetas.....	15
2.4.6.	Clases de Etiquetas RFID.....	15
2.5.	Lector RFID (<i>reader</i>)	17
2.6.	RFID Middleware.....	19
2.7.	Controlador (host)	22
2.7.	Transferencia de señal entre las etiquetas y el lector RFID	22
2.8.	Estándares RFID.....	23
2.8.1.	Estándares ISO RFID	23
2.8.2.	Estándares EPCglobal.....	25
2.9.	Problemas de colisión en sistemas RFID.....	29
2.10.	Protocolos anticolisión en lectores RFID.....	30
2.10.1.	Protocolos TDMA.....	30
2.10.2.	Protocolos FDMA.....	31
2.10.3.	Protocolos CSMA	33
2.11.	Protocolos anticolisión en etiquetas RFID.....	33
2.11.1.	Protocolo Aloha	34
2.11.2.	Protocolos Tipo Árbol	38
2.11.3.	Protocolos basados en Contadores.....	42
2.12.	Codificación y modulación en RFID	44
2.12.1.	Codificación en banda base.....	44
2.12.2.	Procesos de modulación digital	45
2.13.	Problemas en RFID.....	46
2.14.	Otras tecnologías inalámbricas	47
2.14.1.	Bluetooth (BT).....	47
2.14.2.	Ultra-Wideband (UWB)	48

2.14.3.	Certified Wireless USB	49
2.14.4.	Infrarrojo (IrDA).....	50
2.14.5.	Wi-Fi (IEEE 802.11x).....	50
2.14.6.	Near Field Communication (NFC).....	53
2.14.7.	ZigBee (IEEE 802.15.4).....	54
	CAPÍTULO 3: APLICACIONES RFID	57
3.1.	RFID en la cadena de suministros	57
3.2.	RFID en la biomedicina	60
3.3.	RFID en la confección y fabricación de textiles.....	61
3.4.	RFID en las bibliotecas	62
3.5.	RFID en la gestión de mantenimiento de la aviación	64
3.6.	Bastón guía RFID para no videntes	65
3.7.	RFID en la industria automotriz.....	66
3.8.	RFID en la identificación de animales	67
3.9.	RFID en transporte y logística.....	68
3.10.	RFID en seguridad y control de acceso	69
3.11.	RFID en los sistemas de pago sin contacto	70
3.12.	Pasaporte electrónico.....	71
3.13.	RFID en sistemas de pago de peajes	72
3.14.	RFID en hospitales y farmacias	73
	CAPÍTULO 4: RFID Y EL INTERNET DE LAS COSAS (IOT)	75
4.1.	Sistemas RFID en red.....	75
4.2.	La arquitectura IoT	76
4.2.1.	Capa de detección.....	77
4.2.2.	Capa de red.....	77
4.2.3.	Capa de aplicación	77
4.3.	Aplicaciones RFID en el IoT.....	78

4.4.	El futuro en IoT.....	81
	CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	82
5.1.	Conclusiones.....	82
5.2.	Recomendaciones.....	84
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	85

Índice de Figuras

Capítulo 2

Figura 2.1: Sistema básico RFID.	7
Figura 2.2: Espectro electromagnético.	8
Figura 2.3: Principio operacional de radiofrecuencia en un dispositivo.....	9
Figura 2.4: Etiquetas RFID Activas.	11
Figura 2.5: Etiquetas RFID Pasivas.	12
Figura 2.6: Etiqueta pasiva RFID de 13.56 MHz.....	12
Figura 2.7: Modulación por carga en etiqueta pasiva.	13
Figura 2.8: Modulación por retrodispersión en etiqueta pasiva.....	13
Figura 2.9: Modulación por retrodispersión en etiquetas semipasivas.....	14
Figura 2.10: Etiqueta RFID semipasiva.	14
Figura 2.11: Clases de etiquetas RFID.	16
Figura 2.12: Lectores RFID.....	18
Figura 2.13: Distintos tipos de antenas.....	19
Figura 2.14: Fuera de un middleware RFID.....	20
Figura 2.15: Dentro de un middleware RFID.	21
Figura 2.16: Código EPC.	26
Figura 2.17: Diagrama de la arquitectura de la red EPC.	27
Figura 2.18: SGTIN-96 EPC.	29
Figura 2.19: La relación entre la zona de interrogación y la zona de interferencia.....	30
Figura 2.20: La estructura jerárquica de control de un protocolo HiQ.....	32
Figura 2.21: Interacción entre etiquetas y lector.	35

Figura 2.22: (a) Aloha puro con mute. (b) Aloha puro con modo rápido. (c) Aloha puro con desaceleración.....	35
Figura 2.23: Aloha ranurado con terminación temprana.	36
Figura 2.24: (a) Una trama de detección precede una trama de salto; en el ejemplo, solo dos etiquetas transmitieron su identificación satisfactoriamente. (b) Detección de colisiones usando código Manchester.	37
Figura 2.25: Identificación de etiquetas con protocolos basados en árboles. (a) Expresión arbórea de identificación de etiquetas. (b) Árbol Binario. (c) Árbol de consulta.....	39
Figura 2.26: Estructura del protocolo EPCglobal Class 0.	41
Figura 2.27: Codificación de señal cambiando frecuente mente líneas de código en sistemas RFID.....	45
Figura 2.28: Forma de onda PSK desde una onda NRZ	46
Figura 2.29: Red Bluetooth	48
Figura 2.30: Red Ultra-Wideband.	49
Figura 2.31: Certified Wireless USB.	49
Figura 2.32: Móvil con NFC.	54
Figura 2.33: Red ZigBee.....	56

Capítulo 3

Figura 3.1: Etiquetado en la cadena de suministro.	58
Figura 3.2: Lectores RFID en la entrada del almacén de la fábrica.	59
Figura 3.3: (a) Etiqueta RFID insertada en primer molar inferior. (b) Retenedor dental con sistema RFID dentro de la boca.	61

Figura 3.4: Etiqueta RFID TexTrace.	62
Figura 3.5: Sistema RFID para bibliotecas.	63
Figura 3.6: Un usuario coloca el lector RFID de mano SmartStem sobre el medidor de presión que transmite la temperatura, la presión y el número de identificación único del neumático.	65
Figura 3.7: (a) Diseño del sistema en modo navegación. (b) Prototipo del bastón guía RFID.....	66
Figura 3.8: Ensamblaje de varios modelos de vehículos Volvo en la misma línea de producción.	67
Figura 3.9: Etiqueta RFID en ganado.	68
Figura 3.10: Transporte y logística en RFID.	69
Figura 3.11: Identificación vehicular automática utilizando RFID.....	70
Figura 3.12: Servicio de pago de MasterCard PayPass.	71
Figura 3.13: Pasaporte electrónico.	71
Figura 3.14: Peaje E-ZPass.....	72
Figura 3.15: Pulsera RFID para medicamento.....	73
Figura 3.16: Etiqueta RFID Kit Check en medicamentos.....	74

Capítulo 4

Figura 4.1: Internet de las Cosas (IoT).	75
Figura 4.2: Vista jerárquica de un sistema RFID en red	76
Figura 4.3: Arquitectura del IoT.....	78
Figura 4.4: Ruta del alcance de las tecnologías.	81

Índice de Tablas

Capítulo 2

Tabla 2.1: Evolución histórica de la Tecnología RFID.	6
Tabla 2.2: Banda de Frecuencias comúnmente utilizadas en sistemas RFID.	15
Tabla 2.3: Características de las clases de etiquetas RFID.....	17
Tabla 2.4: Estructura de la familia de estándares ISO RFID	25
Tabla 2.5: Elementos clave de la Red EPC.....	28
Tabla 2.6: Estándares IEEE 802.11x.	51

Capítulo 4

Tabla 4.1: El alcance del IoT.....	78
------------------------------------	----

Resumen

En el presente Trabajo de Titulación se hace un estudio de la tecnología de identificación por radiofrecuencia (RFID), sus aplicaciones y la convergencia con el internet de las cosas (IoT). Se caracteriza cuáles son los principios físicos de la tecnología RFID, sus elementos principales, los protocolos de anticolisión, métodos de codificación y modulación y sus estándares.

Se investigó documentos actualizados de aplicaciones con sistemas RFID que se puedan utilizar en localización, rastreo y administración objetos en tiempo real, en automotores, rastreo de animales, sistemas de pago, cadena de suministros, en hospitales, inventario en librerías, gestión y protección de infraestructuras, logística y transporte, seguridad y control, etc.

Se realizó un análisis de la convergencia de los sistemas RFID con el internet de las cosas (IoT). El internet de las cosas (IoT) es la tecnología de moda actual, la innovación en el campo de las telecomunicaciones, proporcionará a los objetos la infraestructura de detección inalámbrica omnipresente y sistemas de identificación con trillones de dispositivos singularmente identificables con sensores inteligentes para conectar cualquier cosa en cualquier momento y en cualquier lugar. RFID es una tecnología atractiva para la creación de este tipo de redes de sensores omnipresentes debido a sus características de bajo coste, pequeño tamaño y de bajo mantenimiento.

Palabras Claves: IDENTIFICACIÓN POR RADIOFRECUENCIA; RFID; INTERNET DE LAS COSAS; IOT, ETIQUETAS, LECTORES, REDES INALÁMBRICAS.

Abstract

In the present paper I have done a study of the radio frequency identification technology (RFID) its applications and the convergence with the internet of things (IoT). Where are characterized the physical principles of the RFID technology, main elements, anti-collision protocols, coding and modulation methods and standards.

I researched updated papers of applications using RFID systems that can be used in tracing, tracking and managing objects in real time, in automotive, animal tracking, payment systems, supply chain, in hospitals, library inventory, management and protection of infrastructure, logistics and transportation, security and control, etc.

I made an analysis on convergence of RFID systems and the internet of things (IoT). The internet of things (IoT) is the current trend technology, innovations in the telecommunication, will provide objects a ubiquitous infrastructure of wireless detection and identification system, with trillions of devices uniquely identifiable with intelligent sensors to connect anything, anytime and everywhere. RFID is an attractive technology for the creation of such ubiquitous sensor networks due to its characteristics of low cost, small size and low maintenance.

Keywords: RADIO FREQUENCY IDENTIFICATION; RFID; INTERNET OF THINGS; IOT; TAGS; READERS; WIRELESS NETWORKS.

CAPÍTULO 1: GENERALIDADES

1.1. Introducción

La tecnología de identificación por radiofrecuencia (*Radio Frequency Identification, RFID*) es utilizada en la actualidad para solucionar problemas de identificación y control en diferentes áreas como en la gestión de transporte, gestión de recursos y ventas, identificación de animales, personas y objetos. Entre todas estas aplicaciones la tecnología RFID tiene un rol importante en la implementación del Internet de las cosas (*Internet of Things, IoT*).

Con el desarrollo de la Tecnología 5G se llegarán a conectar trillones de dispositivos a internet, esto da la posibilidad al incremento en la utilización de tecnologías como RFID para el procesamiento de información, que es obtenida por medio de lectores de radiofrecuencia y luego transmitida remotamente solo teniendo una conexión a Internet.

Este trabajo de Titulación se enfocará en cómo se utiliza la tecnología RFID para la automatización de la comunicación entre los objetos y las personas a través del IoT, con el desarrollo de esta nueva tendencia se logrará entrar a una nueva era en la que las personas están en constante comunicación con los dispositivos y objetos utilizando los últimos avances tecnológicos en redes inalámbricas para lograr este objetivo.

1.2. Planteamiento del Problema

Cada vez más las personas necesitan estar interconectadas con los diferentes tipos de dispositivos que se utilizan habitualmente, es por eso que el desarrollo de tecnologías que permitan la fácil interconectividad con estos dispositivos es necesaria.

Dentro de las tecnologías que convergen con el Internet de las cosas, el uso y aplicación de la identificación por radiofrecuencia es fundamental para interconectar los diferentes tipos de dispositivos, pero no se conoce un estado del arte actualizado que recopile las nuevas aplicaciones existentes.

1.3. Objetivos de la Investigación

1.3.1. Objetivo General

Estudiar la tecnología de identificación por radiofrecuencia, sus aplicaciones y la convergencia con el internet de las cosas.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar la tecnología RFID en comparación de las diferentes tecnologías inalámbricas existentes.
- Describir la operación de interconexión y protocolos que soportan RFID.
- Analizar el escenario de convergencia de RFID hacia el IoT.

1.4. Justificación

Por los avances en convergencia de las redes de telecomunicaciones, la tecnología RFID es de vital importancia para el IoT y el presente trabajo de titulación recopila información actualizada y se hace una investigación de las aplicaciones en la identificación y control de objetos que es la base del Internet de las Cosas.

1.5. Hipótesis

La tecnología RFID ofrece mejores soluciones de identificación y control de objetos, personas, animales que otras tecnologías inalámbricas por lo cual se utiliza RFID para lograr una mejor convergencia con el internet de las cosas y las redes de telecomunicaciones.

1.6. Metodología

El trabajo de titulación que se presenta es una investigación bibliográfica y documental porque se recopila información de documentos, revistas y libros actualizados referentes a la Identificación por Radiofrecuencia y es descriptiva porque se caracteriza el escenario de convergencia entre RFID y el IoT.

CAPÍTULO 2: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. Antecedentes históricos de la tecnología RFID

La identificación por radiofrecuencia (RFID) data su descubrimiento realizado por Faraday durante mediados del siglo diecinueve y los descubrimientos entre los años 1900 y 1940 en tecnologías de radio y radar. Faraday descubrió el concepto de inducción mutua, el cual forma la base para la alimentación de etiquetas pasivas operando en un campo cercano. Durante la primera mitad del siglo veinte avances tecnológicos permitieron desarrollar etiquetas de largo alcance.(Ilyas & Ahson, 2008)

Durante la Segunda Guerra Mundial muchos países utilizaron radiofrecuencia para identificar los aviones, los alemanes, americanos japoneses y británicos utilizaron radares para aproximar la ubicación de los aviones mientras estos estaban a varios kilómetros de distancia. Sin embargo no se podía saber si el avión era del enemigo por lo que los británicos desarrollaron el primer sistema de identificación activa poniendo un transmisor en cada uno de sus aviones para así poder identificar su señal en las estaciones de radares.(Observatorio Regional de la Sociedad de la Información, ORSI, 2007)

El desarrollo de los radares y sistemas de radiofrecuencia siguieron en las décadas de los 50 y 60, los científicos de Estados Unidos, Japón y Europa en sus investigaciones descubrieron como la energía de radiofrecuencia podía utilizarse para identificar objetos de forma remota. La primera patente para una etiqueta RFID activa con memoria regrabable se concedió en el año de 1973 a Mario W. Cardillo.(Observatorio Regional de la Sociedad de la Información, ORSI, 2007)

Una demostración del poder reflexivo de las etiquetas RFID fue realizada por Steven Depp, Alfred Koelle y Robert Freyman en el Laboratorio Nacional de Los Álamos en 1973. El sistema operaba en 915 MHz y usaba etiquetas de 12 bits. Esta técnica es usada por la mayoría de las actuales etiquetas UHFID y las etiquetas de microondas RFID.(El Safi Ahmed Adam, 2011)

La década de los noventa fue muy importante para la tecnología RFID porque hubo la implementación a larga escala de los peajes electrónicos y la instalación de más de tres millones de etiquetas RFID en vagones de ferrocarril en Estados Unidos. Se desarrollaba el interés en la administración de objetos y la oportunidad de trabajar en conjunto con RFID y códigos de barra, un sin número de compañías empezaron a competir en este mercado, muchas todavía permaneces, otras se han fusionado, otras han salido y nuevas han entrado.(Landt, 2005)

En el siglo 21 la administración en la cadena de suministro y el seguimiento de artículos son las áreas de aplicación de RFID que han crecido rápidamente por el estímulo de los avances tecnológicos. El desarrollo de la tecnología RFID continúa acelerándose, el futuro se ve prometedor para esta tecnología, para alcanzar su verdadero potencial requiere también del desarrollo en otras áreas como software de aplicación, políticas de privacidad y aspectos legales; infraestructura de soporte para diseñar, instalar y mantener sistemas RFID; y muchas otras áreas a las que ha entra la tecnología RFID. (Landt, 2005)

Gracias a los importantes avances en las telecomunicaciones, como la tecnología 5G, el sueño de la convergencia con el Internet de las Cosas (IoT) es una realidad que ya está siendo implementada. Solo con el constante desarrollo de estas tecnologías se puede llegar a tener un mundo más tecnológico donde todas las personas interactúan con los objetos que poseen en cualquier parte del mundo donde se encuentren.

La tabla 2.1 muestra un resumen de la historia de la RFID a través del tiempo.

Tabla 2.1: Evolución histórica de la Tecnología RFID.

Décadas	Eventos
1940-1950	<ul style="list-style-type: none"> • Se define y emplea el radar. • Esfuerzos de desarrollo en la Segunda Guerra Mundial. • RFID se inventa sobre 1948.
1950-1960	<ul style="list-style-type: none"> • Primeras investigaciones sobre la tecnología RFID. • Experimentos en laboratorios
1960-1970	<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollo de la teoría de RFID. • Primeras pruebas de campo.
1970-1980	<ul style="list-style-type: none"> • Explosión del desarrollo de RFID. • Se aceleran las pruebas con RFID. • Primeras implementaciones adaptadas con RFID.
1980-1990	<ul style="list-style-type: none"> • Las aplicaciones comerciales de RFID cobran importancia.
1990-2000	<ul style="list-style-type: none"> • Surgen los estándares. RFID se despliega más ampliamente.
2000-2010	<ul style="list-style-type: none"> • Aparecen aplicaciones innovadoras. • Combinación de RFID con servicios móviles personales. • RFID subcutáneo para animales y humanos. • RFID llega a formar parte de la vida diaria.
2010-Actualidad	<ul style="list-style-type: none"> • Gran comercialización de la Tecnología RFID. • Uso de RFID en alimentos, armas, supermercados, seguridad, seguimiento, movilidad, etc. • Convergencia entre RFID y el Internet de las Cosas.

Fuente: (Observatorio Regional de la Sociedad de la Información, ORSI, 2007)

2.2. Tecnología RFID

Un sistema RFID utiliza la tecnología de comunicación inalámbrica por radiofrecuencia para únicamente identificar objetos o personas etiquetadas. Hay cuatro componentes básicos de un sistema RFID que son la etiqueta (*tag*), el lector o interrogador (*reader*), el controlador (*host*) y el *middleware*.(Hunt, Puglia, & Puglia, 2007)

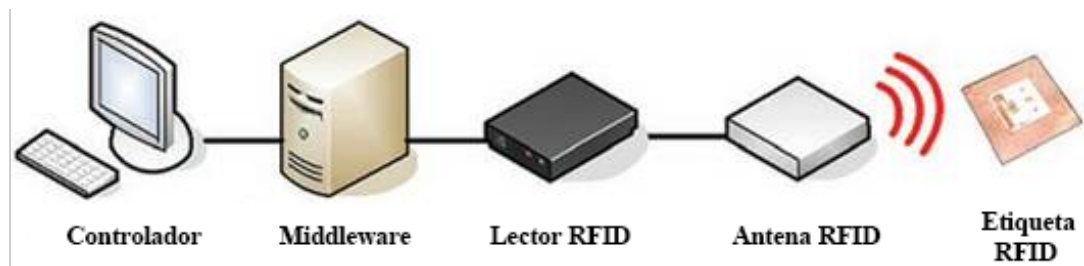


Figura 2.1: Sistema básico RFID.

Fuente: (Kwok, Tsang, & Cheung, 2007)

2.3. Principios físicos RFID

2.3.1. Electricidad

Es la propiedad de la materia relacionada a su carga eléctrica. Es responsable de varios fenómenos naturales como la iluminación y es utilizada en varias aplicaciones industriales tales como energía eléctrica y todo el campo de la electrónica. El campo eléctrico es un campo donde las cargas ejercen fuerza entre ellas a una cierta distancia. (Sanghera, 2006)

2.3.2. Magnetismo

Es la propiedad del material que permite a dos objetos ejercer una fuerza específica entre ellos, llamada fuerza magnética, que es creada por cargas eléctricas en movimiento. Un campo magnético es producido por el movimiento de una carga que lo utiliza para ejercer fuerza magnética sobre otra carga en movimiento. (Sanghera, 2006)

2.3.3. Electromagnetismo

Un campo eléctrico cambiante produce un campo magnético, y un campo magnético cambiante produce un campo eléctrico. Dado esto la fuerza eléctrica y la fuerza magnética son consideradas dos diferentes manifestaciones de una misma fuerza unificada llamada fuerza

electromagnética. La forma unificada del campo eléctrico y el campo magnético se llama campo electromagnético.(Sanghera, 2006)

2.3.4. Espectro electromagnético

Las diferentes ondas electromagnéticas se diferencian en su frecuencia y en su longitud de onda. Todo el rango de ondas electromagnéticas es denominado espectro electromagnético.(Sanghera, 2006)

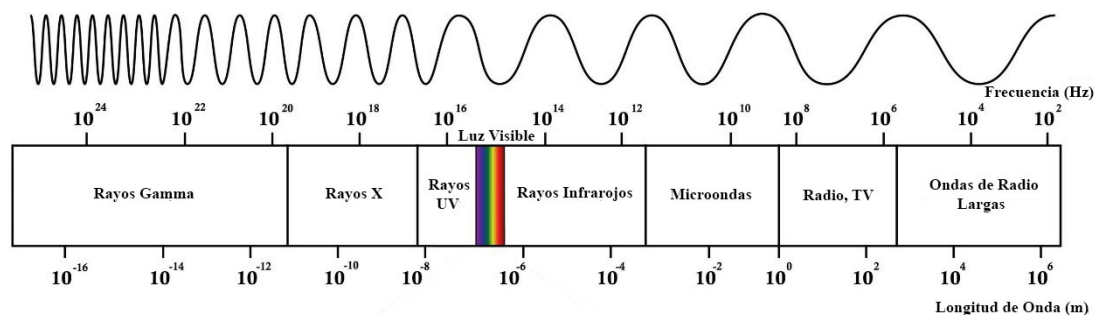


Figura 2.2: Espectro electromagnético.

Fuente: (Lucas, 2015)

2.3.5. Radiofrecuencia

La comunicación se da ha lugar usando ondas de radiofrecuencia (*Radio Frequency, RF*), que son básicamente ondas electromagnéticas (*Electromagnetic, EM*) con frecuencias del espectro electromagnético llamadas radiofrecuencias.(Sanghera, 2006)

El proceso de radiofrecuencia está basado de un circuito LC resonante ajustado a una cierta frecuencia de resonancia. Versiones anteriores incluían resistores inductivos hechos de alambre de cobre esmaltado con un capacitor soldado a una placa plástica (etiquetas duras). Sistemas modernos emplean bobinas grabadas entre láminas en forma de etiquetas adhesivas.(Finkenzeller, 2003)

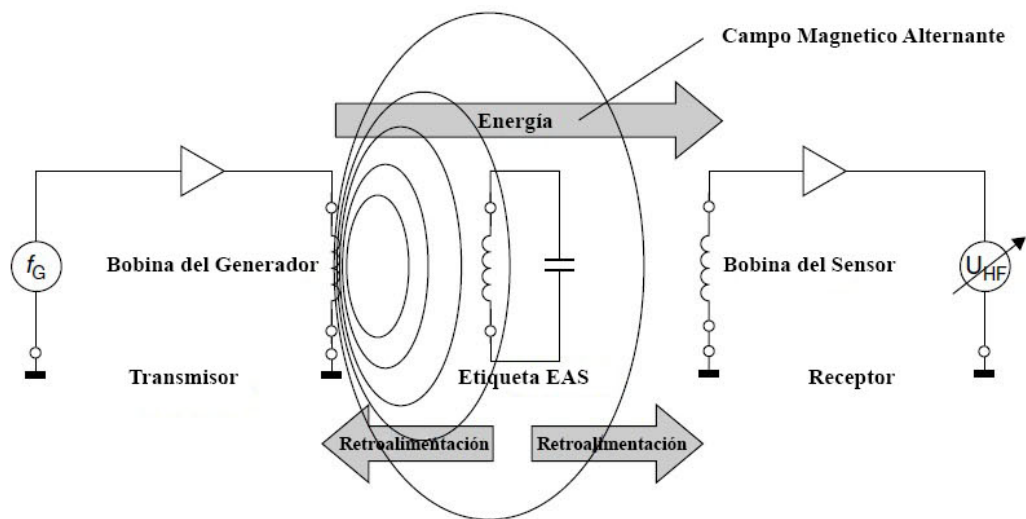


Figura 2.3: Principio operativo de radiofrecuencia en un dispositivo.

Fuente: (Finkenzeller, 2003)

2.3.6. Elementos de una comunicación por radiofrecuencia

La comunicación por radiofrecuencia utiliza ondas electromagnéticas con frecuencias de un rango específico del espectro electromagnético. Por lo tanto, la física detrás de la comunicación por radiofrecuencia es la misma que cualquier comunicación que utilice ondas electromagnéticas para llevar información. Las cuatro principales razones para que suceda la comunicación son las siguientes: (Sanghera, 2006)

- **Señal de datos:** es la onda que contiene la información que necesito ser enviada al receptor.
- **Señal portadora:** esta es la onda que lleva la señal de datos.
- **Modulación:** es el proceso que codifica la información de la señal dentro de la señal portadora y crea las ondas de radio que son transmitidas a la antena para su propagación.
- **Antena:** es utilizado para transmitir y recibir señales como por ejemplo ondas de radio. (Sanghera, 2006)

2.4. Etiquetas RFID (*tags*)

La función básica de una etiqueta RFID es guardar y transmitir información hacia el lector RFID. Son elementos pequeños que pueden ser colocados, pegados o insertados en objetos o seres vivos. Está conformado por un microchip, almacenamiento de datos, lógica funcional limitada y una antena. La señal emitida por el lector RFID es respondida por el chip a través de su antena. El chip tiene una memoria interna para guardar información, las etiquetas se pueden clasificar según su fuente de energía. (San José, Blanco, De Dios, Zangróniz, & Pastor, 2015)

2.4.1. Etiquetas Activas

Las etiquetas activas tiene transmisores y una batería como su fuente de energía, estas transmiten sus códigos de identificación a través transmisores de radiofrecuencia, pueden tener un amplio rango de lectura. Trabajan usualmente entre 455 MHz, 2.45 GHz o 5.8 GHz, y su rango de lectura es de 20 metros a 100 metros. Gracias a su habilidad de detectar objetos a largas distancias son utilizadas para rastrear grandes elementos, como contenedores, vehículos o aviones. (Yang, 2010)

Hay dos tipos de etiquetas activas, la tipo transpondedor y la tipo faro (*beacon*). La tipo transpondedor no envían la información espontáneamente; son despertadas de su modo de hibernación solo cuando una señal del lector es recibida, luego la identificación de la etiqueta es enviada al lector. Son utilizadas en sistemas de puestos de control. La ventaja de tener una etiqueta que emite su información solo cuando este dentro del rango del lector es conservar la vida de su batería. La tipo faro (*beacon*) son utilizadas en la mayoría de los sistemas de localización en tiempo real (*Real-Time Locating Systems. RTLS*), con el cual la posición exacta de un recurso puede ser rastreada; emiten su información periódicamente, donde su intervalo de

emisión preestablecido puede ser variado desde un segundo o hasta varias horas dependiendo de los requerimientos de las diferentes aplicaciones.(Yang, 2010)

Al momento de seleccionar las etiquetas activas, según las características necesarias de la aplicación, hay que tener en cuenta su costo y tamaño ya que son mayores que en las etiquetas pasivas.



Figura 2.4: Etiquetas RFID Activas.

Fuente: (Cisco Systems, Inc., 2008)

2.4.2. Etiquetas Pasivas

Las etiquetas pasivas no poseen un fuente de poder propia, en cambio, la etiqueta recibe su poder desde el campo electromagnético energizante de un lector RFID. La energía acoplada desde el campo electromagnético se somete a rectificación y multiplicación de voltaje con el fin de poder utilizar la microelectrónica de la etiqueta. En el diseño típico de etiquetas RFID pasivas, estas no se pueden comunicar con aplicaciones del controlador a menos que la etiqueta este en el rango del lector RFID.(Cisco Systems, Inc., 2008)

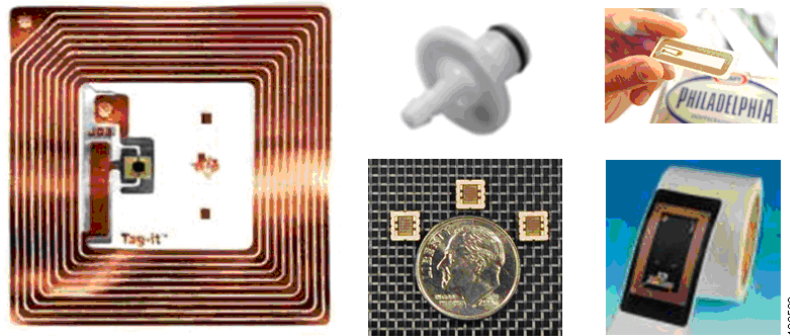


Figura 2.5: Etiquetas RFID Pasivas.

Fuente: (Cisco Systems, Inc., 2008)

Una etiqueta pasiva consiste en un chip de silicio y un circuito de antena. El propósito del circuito de antena es inducir la energía de la etiqueta y mandar una señal de radiofrecuencia modulada, el rango de lectura de la etiqueta depende del circuito de antena y su tamaño. El circuito de antena está hecho de un circuito LC resonante o un dipolo de campo eléctrico, dependiendo de la portadora. (Lehpamer, 2012)

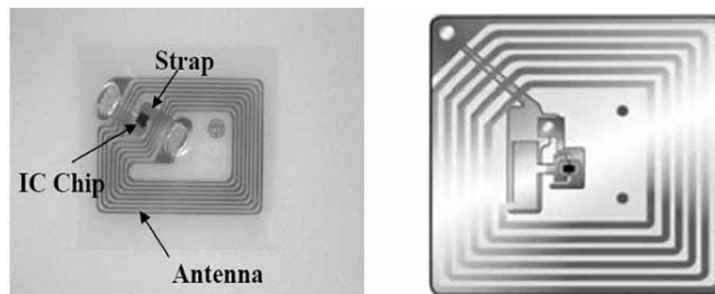


Figura 2.6: Etiqueta pasiva RFID de 13.56 MHz.

Fuente: (Lehpamer, 2012)

Son varias las formas en como las etiquetas pasivas se comunican y reciben energía del lector RFID, esto es realizado bajo dos métodos básicos:

- Modulación por carga y acoplamiento inductivo en el campo cercano

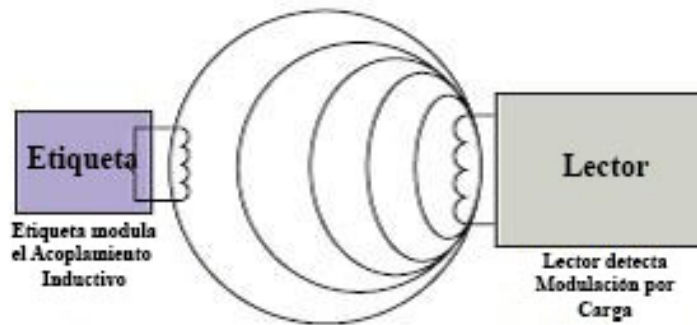


Figura 2.7: Modulación por carga en etiqueta pasiva.

Fuente: (Cisco Systems, Inc., 2008)

- Modulación de retrodispersión y acoplamiento electromagnético en el campo lejano.

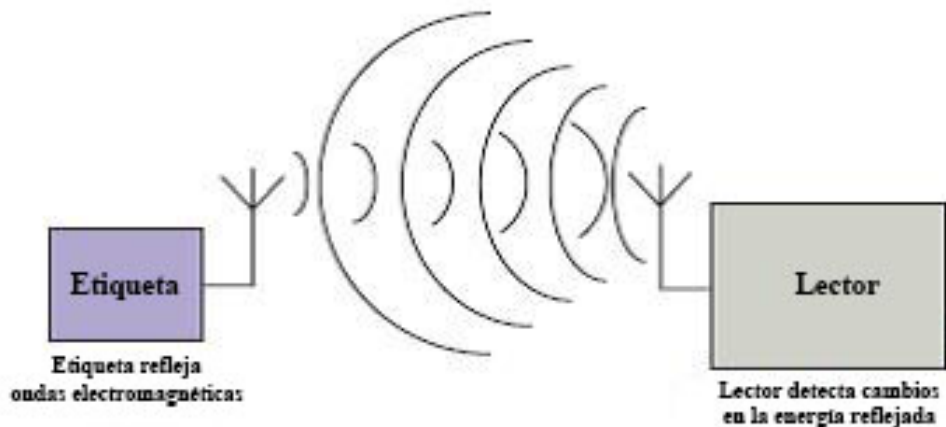


Figura 2.8: Modulación por retrodispersión en etiqueta pasiva.

Fuente: (Cisco Systems, Inc., 2008)

2.4.3. Etiquetas Semipasivas

La diferencia entre las etiquetas pasivas y las semipasivas es el uso de una batería propia para proveerse de energía para la comunicación y el soporte de circuitos auxiliares, como el monitoreo de temperatura y choque. La batería propia es utilizada solamente para proveer de energía a los circuitos de telemetría y retrodispersión en la etiqueta, no para generar energía RF directamente. (Cisco Systems, Inc., 2008)

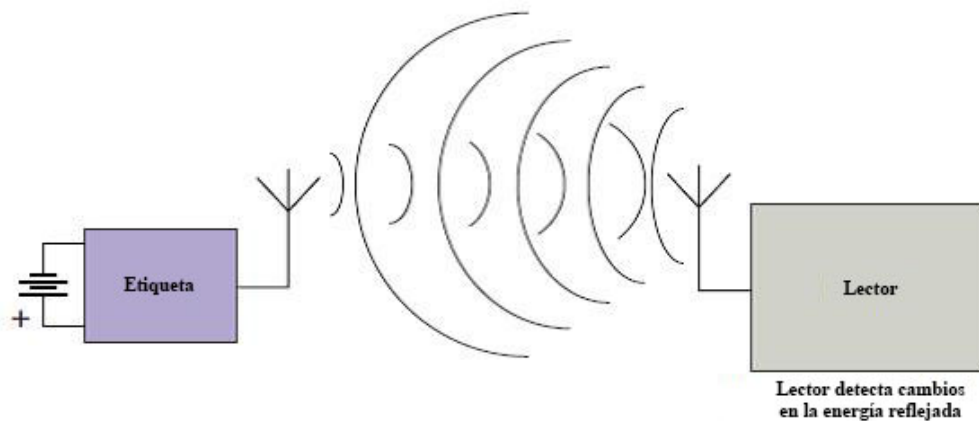


Figura 2.9: Modulación por retrodispersión en etiquetas semipasivas.

Fuente: (Cisco Systems, Inc., 2008)



Figura 2.10: Etiqueta RFID semipasiva.

Fuente: (Cisco Systems, Inc., 2008)

2.4.4. Banda de Frecuencias de las Etiquetas RFID

Los usuarios iniciales de sistemas RFID se encontraron operando en los rangos de frecuencia baja (*Low Frequency, LF*) unos años después se utilizó rangos de alta frecuencia (*High Frequency, HF*). En años recientes ha habido un incremento en el número de sistemas RFID trabajando en rangos de ultra alta frecuencia (*Ultra High Frequency, UHF*) así como también se está empezando a usar sistemas operando en el rango de las microondas. (Lozano-Nieto, 2011)

Tabla 2.2: Banda de Frecuencias comúnmente utilizadas en sistemas RFID.

Banda de Frecuencia	Rango de Frecuencia	Frecuencias típicas usadas en Sistemas RFID
Baja Frecuencia (LF)	100 KHz – 500 KHz	125 KHz 134.2 KHz
Alta Frecuencia (HF)	10 MHz – 15 MHz	13.56 MHz
Ultra Alta Frecuencia (UHF)	400 MHz – 950 MHz	866 MHz Europa 915 MHz Estados Unidos
Microondas (μW)	2.4 GHz – 6.8 GHz	2.45 GHz 3.0 GHz

Fuente: (Lozano-Nieto, 2011)

2.4.5. Antenas en Etiquetas

La corriente eléctrica que fluye a través de un conductor genera campos electromagnéticos. Existen dos campos distinguidos, la primera es la región de campo lejano (*Far-field Region*), en esta región se generan campos radiantes, lo que significa que la energía se propaga en este campo con una densidad proporcional a la inversa de la distancia. La segunda es la región de campo cercano (*Near-Field Region*), en esta región los campos no son predominantes en cambio son campos atenuantes, en donde la fuerza del campo decrece a $1/r^3$, son dominantes. Además, la energía en esta región es reactiva. (Lozano-Nieto, 2011)

2.4.6. Clases de Etiquetas RFID

La complejidad de las etiquetas varía dependiendo de su funcionalidad y como esta se comunica o si tiene o no su propia fuente de alimentación.

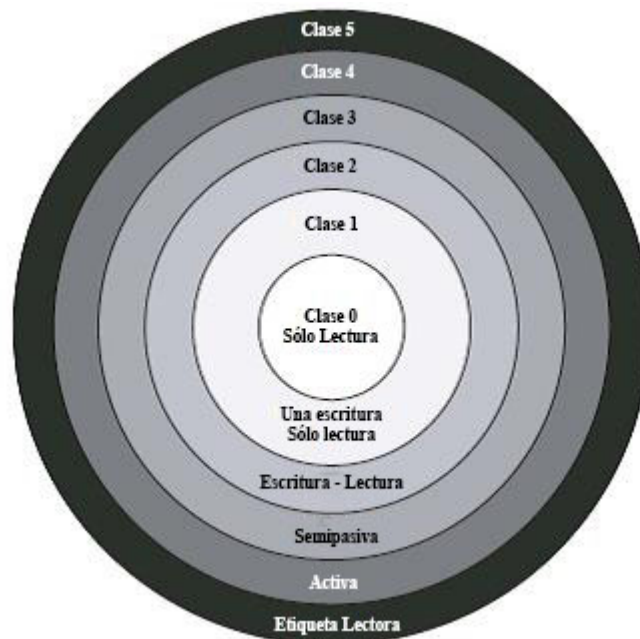


Figura 2.11: Clases de etiquetas RFID.

Fuente: (Sanghera, 2006)

- **Clase 0:** Es una etiqueta simple, pasiva y de solo lectura con un solo número EPC (*Electronic Product Code*) durante su manufactura.
- **Clase 1:** Es una etiqueta simple, pasiva, una sola escritura y de solo lectura (*Write Once Read-only Memory, WORM*). Su información puede ser escrita solo una vez ya sea por el fabricante o por el usuario.
- **Clase 2:** Es una etiqueta pasiva como la clase 0 y clase 1, pero muy flexible en cuanto a su memoria.
- **Clase 3:** Es una etiqueta semipasiva que tiene sensores adentro.
- **Clase 4:** Es una etiqueta activa con un transmisor integrado, utiliza una batería propia para utilizar el circuito del microchip y transmitir la señal hacia el lector.
- **Clase 5:** Es una etiqueta activa que tiene la capacidad de comunicación con otras etiquetas clase 5 y otros dispositivos, incluye todas las capacidades de una etiqueta clase 4, es llamada etiqueta lectora. (Sanghera, 2006)

Tabla 2.3: Características de las clases de etiquetas RFID.

Clase	Tipo	Memoria	Comunicación
Clase 0	Pasiva	Solo lectura	No inicia la comunicación.
Clase 1	Pasiva	Lectura y una sola escritura	No inicia la comunicación.
Clase 2	Pasiva	Lectura y una sola escritura	No inicia la comunicación.
Clase 3	Semipasiva	Lectura y regrabable	No inicia la comunicación.
Clase 4	Activa	Lectura y regrabable	Puede iniciar la comunicación; alimenta su propia comunicación; posible comunicación etiqueta a etiqueta.
Clase 5	Activa	Lectura y regrabable	Puede iniciar la comunicación; alimenta su propia comunicación; posible comunicación etiqueta a etiqueta.

Fuente: (Sanghera, 2006)

2.5. Lector RFID (*reader*)

Transmite la energía suficiente para activar la etiqueta y poder leer los datos que le envíe, está compuesta por un módulo de radiofrecuencia (RF) transmisor y receptor, una antena y una unidad de control. Pueden estar equipados con interfaces estándar, algunos llevan integrado un programador para poder escribir información en las etiquetas. Existen de dos tipos las que solo pueden leer y las que pueden leer y escribir.(Portillo García, Bermejo Nieto, & Bernardos Barbolla, 2008)

Las principales funciones del lector son activar las etiquetas, estructurar la secuencia de datos con las etiquetas y transferir información entre las aplicaciones y las etiquetas, todas las características de una comunicación inalámbrica, así como realizar la conexión, realizar procedimientos de autenticación y anticlisión, son manejados enteramente por el lector.(Finkenzeller, 2003)

Un lector RFID puede ser estacionario o portable, los componentes típicos de un lector RFID incluyen la antena, transceptor RF, microcontrolador, interface de comunicación y la fuente de energía. El lector se comunica con las etiquetas a través de las antenas, puede estar integrada al lector o fuera del lector, puede tener una o varias antenas: el transceptor es responsable de transmitir la señal del lector, recibir y demodular la respuesta de la etiqueta; el microcontrolador es responsable de decodificar y chequear errores de la señal demodulada, maneja los protocolos de la etiqueta y del lector; la interfaz de comunicación del lector permite enviar información a los niveles superiores; la fuente de alimentación es una parte esencial del lector, lectores comerciales pueden tener otras partes adicionales como memoria o sensores para mejorar el funcionamiento del lector RFID.(Yang, 2010)



Figura 2.12: Lectores RFID.

Fuente: (Dipole, 2013)

Las antenas descritas para los lectores utilizan el mismo principio descrito para las antenas de las etiquetas. Sin embargo, el tamaño de las antenas es menos crítico en los lectores porque tiene menos restricciones y la antena puede tener mayores dimensiones. Esto incrementa el funcionamiento de la antena, estas pueden ser hechas de conductores más gruesos, resultando campos electromagnéticos más fuertes.(Lozano-Nieto, 2011)

Las antenas se categorizan comúnmente de la siguiente manera:

- Antenas polarizadas circularmente o linealmente.
- Antenas de puerta.
- Antenas omnidireccionales.
- Antenas de varilla.
- Dipolos o multipolar.
- Antenas adaptativas (*arrays*). (Portillo García et al., 2008)



Figura 2.13: Distintos tipos de antenas.

Fuente: (Portillo García et al., 2008)

2.6. RFID Middleware

Es un software encargado de manejar la comunicación entre los sistemas de aplicación y el hardware RFID. Gestiona los lectores y la data que llegan de las etiquetas, realiza filtrado, control e integración de lectores, selecciona la información más relevante captado por el lector para agilizar los tiempos de procesamiento, permite la estandarización del flujo de la información, crea soluciones para responder a problemas específicos y así mejorar los procesos internos de las empresas. (Casero, 2013; San José et al., 2015)

El middleware mueve los datos desde y hacia los puntos de transacción, por ejemplo, en un proceso de lectura de etiqueta, el middleware moverá los datos contenidos en una etiqueta desde el lector hacia un sistema de la empresa. A la inversa, en un proceso de escritura de etiqueta, el middleware moverá los datos desde el sistema de la empresa hacia el lector apropiado y en última instancia hacia la etiqueta. El middleware tiene cuatro funciones importantes: recolección de información, enrutamiento de información, administración de procesos y administración de dispositivos.(Hunt et al., 2007)

El middleware es un componente considerado una inteligencia añadida esencial y puede ser vinculada con la información de otros sistemas de una compañía, así como base de datos externos, sistemas de información de socios o sistemas de administración de bodegas. En la Figura 2.14 se muestra la posición del middleware en un sistema RFID así como también dos conceptos claves: el protocolo de lectura y la interfaz de las aplicaciones. De hecho, el middleware es el vínculo entre los lectores y las aplicaciones empresariales.(Bolic, Simplot-Ryl, & Stojmenović, 2010)

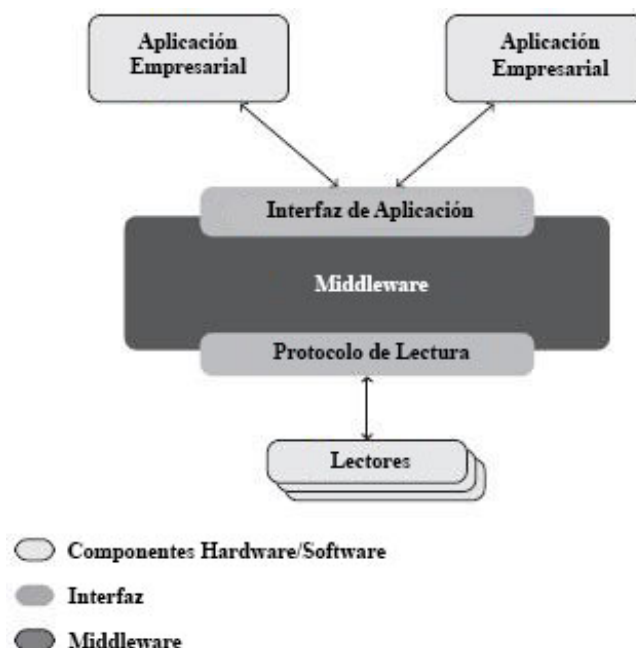


Figura 2.14: Fuera de un middleware RFID.

Fuente: (Bolic et al., 2010)

Conectar lectores RFID directamente con las aplicaciones ocasiona muchos problemas principales como: las aplicaciones dependen del lector, cada aplicación conectada al lector recibe la misma información acerca de la lectura de la etiqueta y si hay una gran cantidad de lectores o aplicaciones probablemente falle por saturación o sobrecarga. Entonces, conectar lectores directamente no es escalable y desperdicia recursos innecesariamente. Utilizando un middleware entre lectores y aplicaciones se pueden resolver estos problemas. Por lograr esto el middleware está dividido en varios bloques, como se muestra en la Figura 2.15.(Bolic et al., 2010)

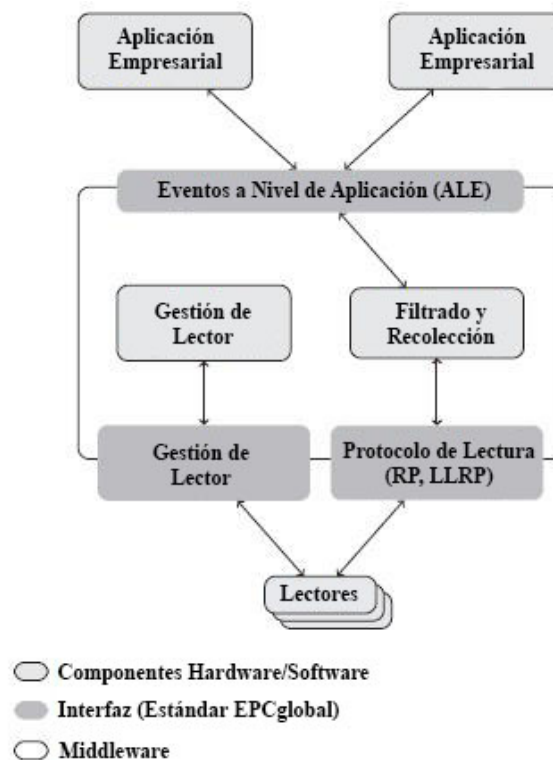


Figura 2.15: Dentro de un middleware RFID.

Fuente: (Bolic et al., 2010)

El objetivo del protocolo de lectura (*Reader protocol*) y la gestión de lector (*Reader Management*) es respectivamente, proveer un interfaz de comunicación entre el lector y el middleware para que la aplicación pueda funcionar independientemente del hardware; y proveer una manera de administrar y monitorear los lectores. (Bolic et al., 2010)

2.7. Controlador (host)

Los controladores RFID son los cerebros de cualquier sistema RFID, son usados para interconectar múltiples lectores RFID juntos y procesar información centralmente. El controlador en cualquier red es casi siempre una computadora o una estación de trabajo, manejando base de datos o aplicaciones de software, o una red de estas máquinas. Puede usar la información recolectada por el lector para: mantener el inventario y alertar a los proveedores cuando se necesita nuevo inventario, rastrear el movimiento de objetos a través de un sistema, verificar identidad y otorgar autorización o debitar una cuenta.(Hunt et al., 2007)

2.7. Transferencia de señal entre las etiquetas y el lector RFID

Para que funcione un sistema RFID, tres procesos son requeridos: transferencia de energía, enlace de subida y enlace de bajada. De acuerdo a esto se puede dividir los sistemas RFID en tres grupos, *full-duplex*, *half-duplex* y secuencial. En *full-duplex* y *half-duplex*, la energía es transferida constantemente, en la secuencial la energía es primero transferida por el lector y luego la etiqueta responde. En *half-duplex*, la información es enviada por turnos ya sea inductivamente o por retrodispersión, en *full-duplex* la información del enlace de subida es enviada en una frecuencia separada, ya sea una armónica o no, para que el flujo de información sea continuo y bidireccional. La transferencia secuencial consiste en dos partes: primero, la energía es enviada hacia la etiqueta y guardada en el capacitor, y luego, utilizando la energía recibida, puede funcionar por un tiempo y envía su respuesta. Este método tiene la ventaja; extendiendo el tiempo de carga y agrandando los capacitores, es posible acumular más energía para la electrónica.(Lehpamer, 2012)

2.8. Estándares RFID

Existen dos estándares principales RFID en el mundo estos son los estándares ISO y los estándares EPCglobal.

2.8.1. Estándares ISO RFID

ISO ha estado trabajando en los estándares RFID por décadas y ha publicado un gran número de estándares relacionados a RFID. Se pueden dividir en dos partes: los estándares generales y los estándares de aplicación. Los estándares generales proveen modelos básicos y arquitecturas en las cual los estándares de aplicación especifican los detalles y suplementos en varias aplicaciones.(Yang, 2010)

ISO 15961 y la ISO 15962 especifican el protocolo de intercambio de información en sistemas RFID para administración de objetos, cada uno se enfoca en una interface en particular. La familia de estándares ISO 18000 es un conjunto de especificaciones propuestas para la gestión de objetos que fueron ratificados como estándares en el año 2004. los estándares solo refieren a los protocolos de interfaz aérea entre el lector y las etiquetas, pero no la estructura de datos.(Yang, 2010)

- **18000-1:** Parámetros genéricos para la comunicación de interfaz aérea para frecuencias aceptadas mundialmente.
- **18000-2:** Parámetros para la interfaz aérea para la comunicación debajo de los 135 KHz (LF).
- **18000-3:** Parámetros para la interfaz aérea para la comunicación a 13.56 MHz (HF).
- **18000-4:** Parámetros para la interfaz aérea para la comunicación a 2.45 GHz (UHF).

- **18000-5:** Parámetros para la interfaz aérea para la comunicación a 5.8 GHz (*Microwave*).
- **18000-6:** Parámetros para la interfaz aérea para la comunicación a 860/930 MHz (UHF).
- **18000-7:** Parámetros para la interfaz aérea para la comunicación a 433.92 MHz (DoD).(Yang, 2010)

La ISO 18046 y la ISO 18047 son estándares para métodos de prueba. La ISO 18046 provee guías para los métodos de prueba de las características de funcionamiento de dispositivos RFID, etiquetas y lectores, para la administración de objetos, y especifica los requisitos generales y los requisitos de prueba para el funcionamiento etiquetas y lectores que son aplicables para la selección de dispositivos para una aplicación. La ISO 18047 define los métodos de prueba para la conformación de un dispositivo RFID.(Yang, 2010)

Los estándares ISO RFID para la cadena de suministros incluyen:

- **ISO 17358:** Requisitos de Aplicación, incluye el mapeo de datos jerárquico.
- **ISO 17363:** Aplicación de la cadena de suministro de RFID - Contenedores de Carga.
- **ISO 17364:** Aplicación de la cadena de suministro de RFID - Artículos de Transporte Retornable.
- **ISO 17365:** Aplicación de la cadena de suministro de RFID - Unidades de Transporte.
- **ISO 17366:** Aplicación de la cadena de suministro de RFID - Empaquetamiento del Producto.
- **ISO 17367:** Aplicación de la cadena de suministro de RFID - Etiquetamiento del Producto (DoD).
- **ISO 10374.2:** Identificación de contenedor de carga RFID.

- **ISO 14816:** Transporte por carretera y telemática de tráfico, identificación automática de vehículos y equipos - Numeración y estructura de datos.

La estructura de la familia de estándares ISO RFID ubicadas en los diferentes niveles de rastreo de unidades lógicas es descrita en la Tabla 2.4:

Tabla 2.4: Estructura de la familia de estándares ISO RFID

Estándar ISO	Nivel de Rastreo
ISO 14816	Vehículo de Transporte (Avión de Carga, Barco, Tren y Camión)
ISO 10374	
ISO 18185	
ISO 14816	Nivel de Contenedores
ISO 17363	
ISO 17364	Nivel de Palets
ISO 17365	Nivel de Unidad de Transporte
ISO 17366	Nivel de Paquetes
ISO 17367	Nivel de Artículos

Fuente: (Yang, 2010)

2.8.2. Estándares EPCglobal

El código EPC por sus siglas en inglés *Electronic Product Code* es el estándar más popular para un identificador, representa una estructura de numeración independiente de las características de un hardware en específico como la frecuencia o la generación de una etiqueta. Este sistema de numeración tiene el potencial de mejorar y finalmente reemplazar los códigos de barra tradicionales. Apunta a asignar un número globalmente único a casi cada objeto equipado con una etiqueta RFID. (Evdokimov, Fabian, Günther, Ivantysynova, & Ziekow, 2010)

El EPC tiene dígitos para identificar el fabricante, categoría del producto y el ítem individual. Está respaldado por el *United Code Council* y el *EAN*

International, los dos principales órganos que supervisan los estándares de los códigos de barras. El EPC consiste en una serie de números y dígitos extras para identificar objetos únicos. El código EPC puede llevar más información que el código UPC (*Universal Product Code*) y puede ser reprogramado con nueva información si es necesario.(Lehpamer, 2012)

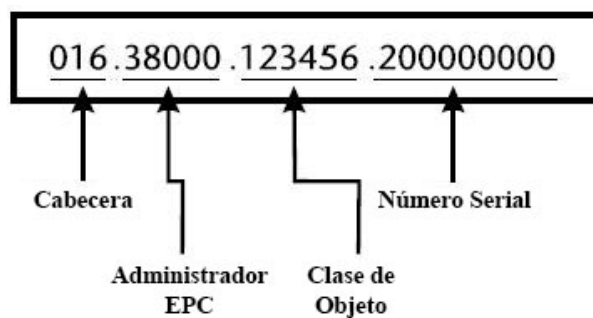


Figura 2.16: Código EPC.

Fuente: (Lehpamer, 2012)

La red EPC también provee servicios EPCIS y ONS en su estructura. EPCIS (*The Electronic Product Code Information Service*) es una especificación para la interfaz de un estándar de acceso a información relacionada a EPC. Provee una interfaz estándar para los socios de la cadena de suministros y los posibilita de compartir e intercambiar información eficientemente sin importar que tipo de base de datos estén utilizando para guardar información, ONS (*Object Name Service*) trabaja en una manera similar al DNS (*Domain Name System*) en el Internet. Cuando un lector lee una etiqueta RFID, el código EPC es transmitido al middleware, luego va hacia un ONS en una red local o el Internet para encontrar donde es guardada la información. El ONS apunta al middleware hacia un servidor donde el archivo de un producto es guardado. El middleware devuelve el archivo, luego de una autenticación, y la información acerca del producto en el archivo puede ser reenviada al inventario de una compañía o aplicaciones de la cadena de suministros.(Yang, 2010)

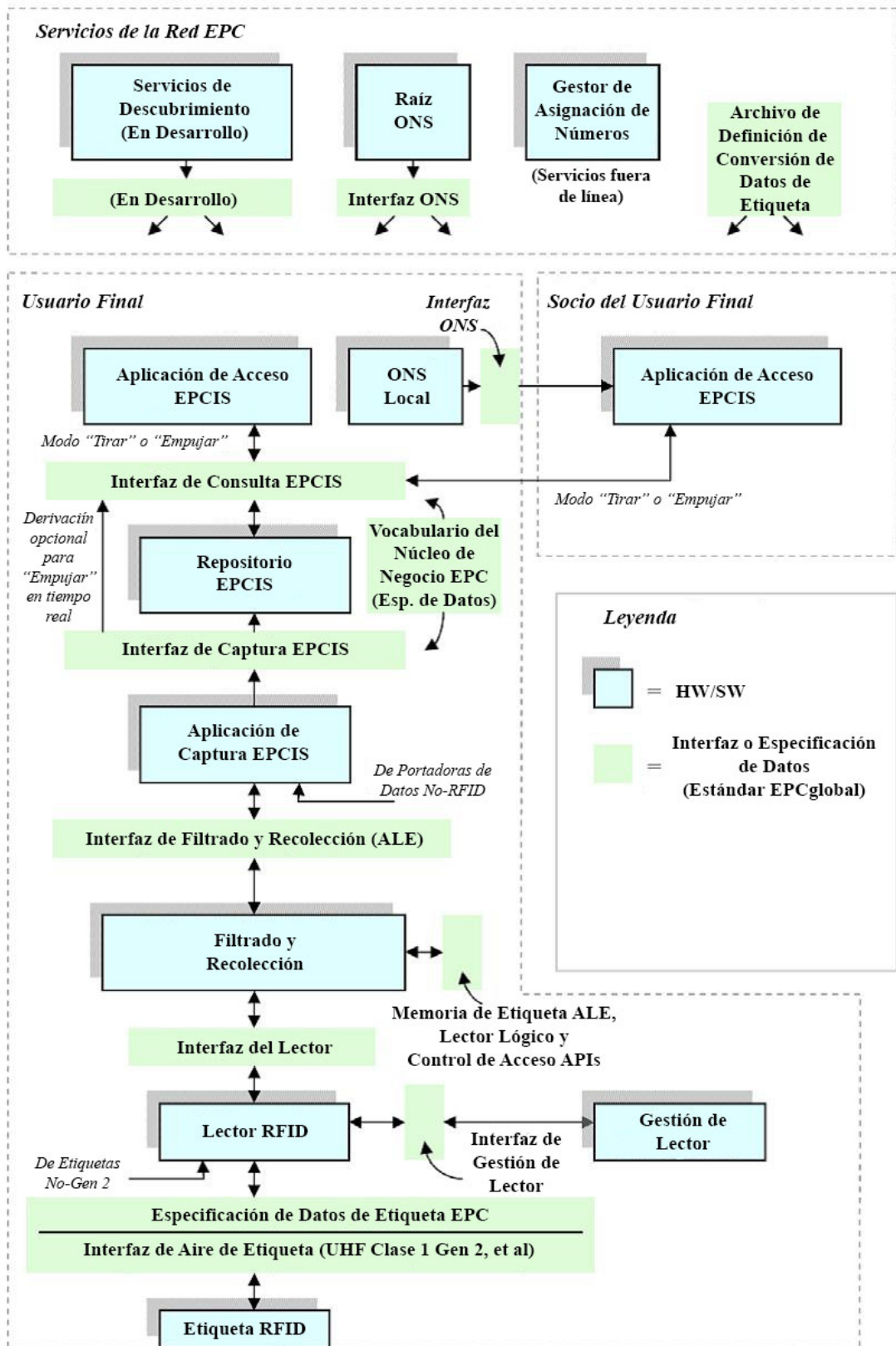


Figura 2.17: Diagrama de la arquitectura de la red EPC.

Fuente: (EPCglobal, 2011)

Tabla 2.5: Elementos clave de la Red EPC.

Estándar EPC	Descripción
Protocolo de lector de nivel inferior (LLRP)	Define el control y entrega de lecturas de etiquetas del lector RFID hacia el F&C Middleware.
Eventos a nivel de aplicación (ALE) Filtrado & Recolección	Interfaz del programa de aplicación para software que filtra y recoge lecturas de etiquetas durante intervalos de tiempo delimitados por ciclos de evento definido por aplicaciones como la <i>EPCIS Capturing Application</i> .
EPCIS Aplicación de captura	Software que supervise la operación de los elementos de la red EPC más bajos y se coordina con eventos a nivel de empresa.
ONS	Es un servicio de red cubierto sobre la existente DNS que es usada para buscar punteros autoritarios para habilitar repositorios EPCIS y servicios EPCIS de información relacionada, recibiendo un Número de Administrador EPC o un EPC completo.
Servicio de repositorio EPCIS	Base de datos en red o Sistema de información proveyendo acceso a consulta/actualización de datos relacionados de EPC.
Aplicación habilitada EPCIS	Software de aplicación responsable de llevar a cabo los procesos de negocio de la empresa en general, como administración de almacén, envío y recepción.
Aplicación de socio comercial	Software de socio comercial que realiza el papel de una aplicación de acceso EPCIS.

Fuente: (EPCglobal, 2011)

El código EPC está sirviendo como un identificador para los objetos físicos que llevan la etiqueta, que pueden ser ahora reconocidos, identificados y rastreados por una infraestructura IT. Puede ser usado como una llave para recobrar información de la *EPCglobal Network*, que es un amplio sistema de base de datos. El código EPC es potencialmente el más importante estándar de codificación para las etiquetas RFID, la mayoría de los códigos EPC tienen una estructura similar a la mostrada en la Figura 2.18, que enseña un ejemplo

EPC para uno de los más populares estándares, *Serialized Global Trade Identification Number* (SGTIN).(Evdokimov et al., 2010)

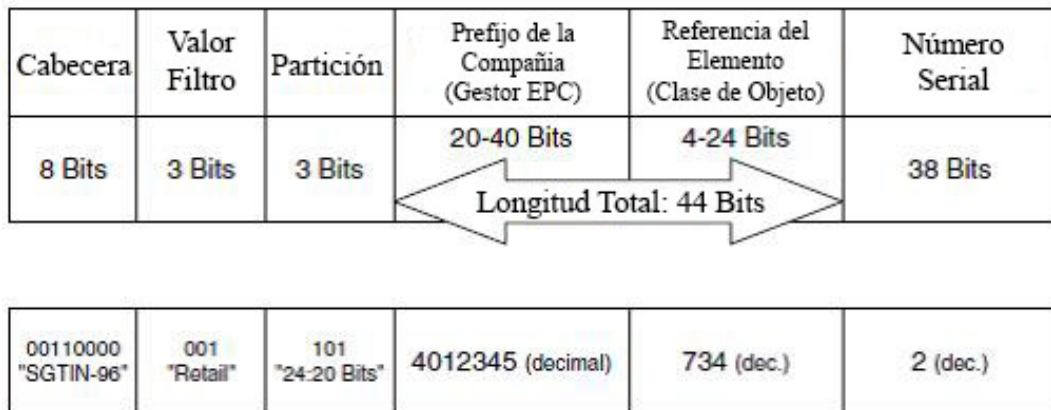


Figura 2.18: SGTIN-96 EPC.

Fuente: (Evdokimov et al., 2010)

2.9. Problemas de colisión en sistemas RFID

Cuando un lector transmite una solicitud a una etiqueta, también provee energía para encender una etiqueta pasiva. Si el lector y la etiqueta pasiva están lo suficientemente cerca, el lector puede recibir la señal reflejada de la etiqueta. Para esa situación, decimos que la etiqueta está en la zona de interrogación del lector. Cuando dos o más lectores están muy cerca o varias etiquetas aparecen en la zona de interrogación del lector, surgen problemas de interferencia, que son clasificados como problemas de colisiones entre lectores y problemas de colisiones entre etiquetas.(Y. Zhang, Yang, & Chen, 2010)

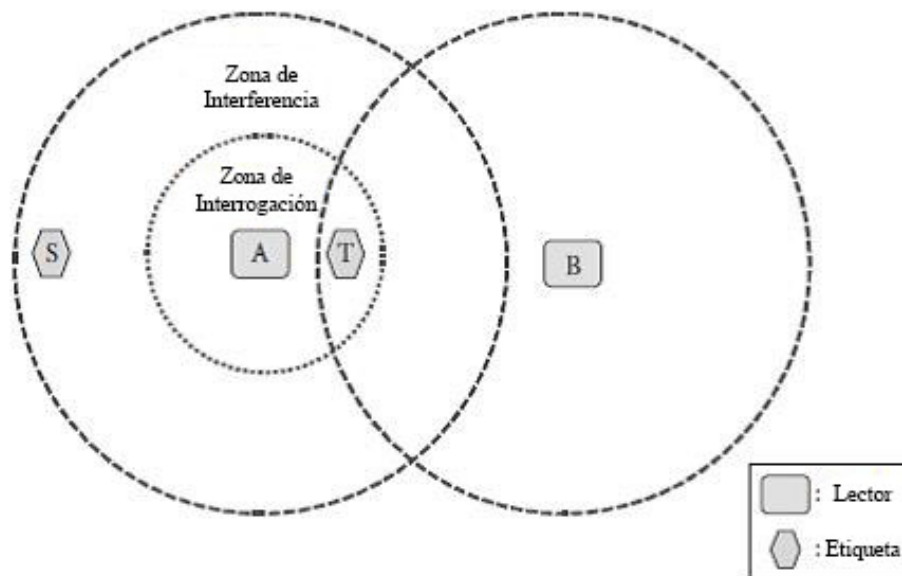


Figura 2.19: La relación entre la zona de interrogación y la zona de interferencia.

Fuente: (Y. Zhang et al., 2010)

2.10. Protocolos anticolidión en lectores RFID

Las colisiones entre lectores ocurren en un entorno poblado de lectores. En este entorno, la zona de interrogación de un lector se traslapa con la zona de interrogación de otro lector, esto causa dos problemas, múltiples lecturas e interferencia de señal. (Sanghera, 2006). Los protocolos están clasificados en tres clases: protocolos TDMA, FDMA y CSMA.

2.10.1. Protocolos TDMA

La idea básica de los protocolos TDMA es dividir todo el periodo de tiempo en intervalos y permitir a un lector transmitir mensajes solo en sus intervalos asignados. De esta manera, la colisión entre lectores puede ser evitada. A continuación, se introducen dos protocolos TDMA: algoritmos DCS y *Colorwave*. (Y. Zhang et al., 2010)

2.10.1.1. Algoritmo DCS

Es un protocolo propuesto por J. Waldrop, D. Engels y S. Sarma (2003). A las ranuras de tiempo se le asignan colores 0, 1 y *maxColors* cíclicamente. DCS resuelve los problemas de colisión entre lectores derivando el grafico de un lector, donde los lectores son representados como nodos, si hay interferencia entre dos nodos son definidos como adyacentes y tienen un borde entre ellos. Luego se asigna un color a cada lector que representa una reservación de una ranura de tiempo específica para transmitir señales. Si todos los lectores adyacentes son de diferentes colores, se evitan las colisiones.(Y. Zhang et al., 2010)

2.10.1.2. Algoritmo Colorwave

El algoritmo *Colorwave* o algoritmo VDCS (*Variable-Maximum Distributed Color Selection*), es una extensión del algoritmo DCS. En *Colorwave*, un mecanismo es propuesto para optimizar el número de colores requeridos para asignar al grafico del lector. Si los colores usados son reducidos, la eficiencia de la señal de transmisión puede ser mejorada.(Y. Zhang et al., 2010)

2.10.2. Protocolos FDMA

Los protocolos FDMA dividen todas las bandas de frecuencias disponibles en varios canales que no interfieren. Los lectores pueden usar diferentes canales para comunicarse con etiquetas simultáneamente. A continuación, se introducen dos protocolos FDMA: HiQ y *EPCglobal Gen 2*.(Y. Zhang et al., 2010)

2.10.2.1. Protocolo HiQ

HiQ es un algoritmo jerárquico, distribuido y de aprendizaje en línea basado en TDMA y FDMA para resolver las colisiones entre lectores. El objetivo diseñado es maximizar el número actual de canales de comunicación entre lectores y etiquetas mientras minimiza el número de colisiones entre lectores aprendiendo los patrones de colisión, para así asignar efectivamente frecuencias a cada ranura de tiempo en los lectores. (Y. Zhang et al., 2010)

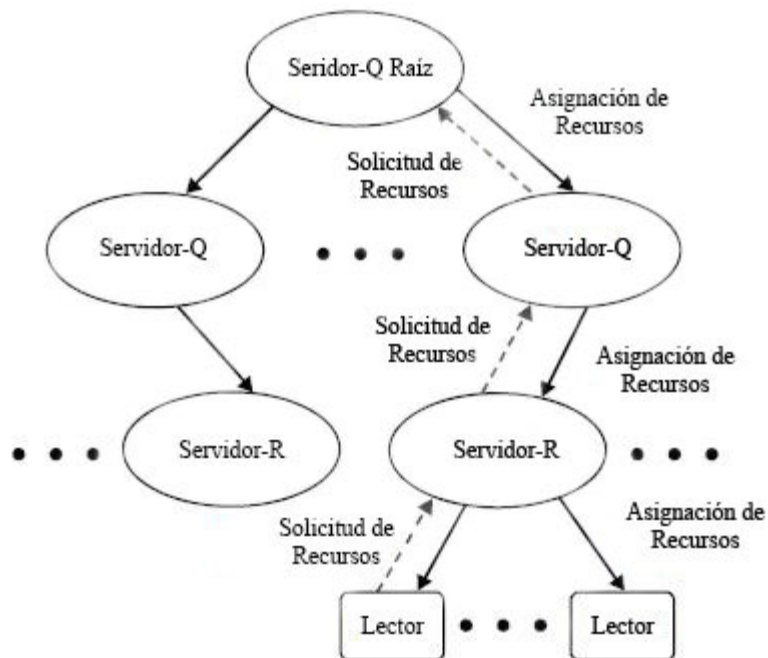


Figura 2.20: La estructura jerárquica de control de un protocolo HiQ.

Fuente:(Y. Zhang et al., 2010)

2.10.2.2. Protocolo EPCglobal Gen 2

El estándar de Clase 1 Generación 2 UHF propuesto por EPCglobal utiliza FDMA para reducir la interferencia entre lectores. Toda la banda frecuencia asignada es dividida en canales. Un lector solo utilizara una cierto canal de comunicación. La frecuencia portadora usada por lectores y etiquetas está separada. Eso es, lectores van a colisionar con lectores solamente. Los

lectores utilizan la técnica de salto de frecuencia en el espectro para evitar interferencias.(Y. Zhang et al., 2010)

2.10.3. Protocolos CSMA

Es un mecanismo común utilizado en sistemas inalámbricos o cableados para evitar colisiones. En este mecanismo, cada dispositivo necesita revisar si el canal de comunicación está libre antes de transmitir mensajes. Si los medios de comunicación están ocupados, el dispositivo esperara hasta que sea liberado.(Y. Zhang et al., 2010)

2.10.3.1. ETSI 302 208

Es una regulación Europea que adopta el mecanismo CSMA llamado “LBT” para resolver problemas de colisión entre lectores. Asigna una banda de frecuencia de 865 a 868 MHz para aplicaciones RFID y divide la banda en 15 canales, cada uno de 200 KHz. Con la máxima potencia efectiva irradiada (ERP) de 2W, solo 10 canales están disponibles para la comunicación y 5 canales son definidos como bandas de guardia o reservas para lectores de bajo poder. El modulo receptor del lector es activado para monitorear los canales seleccionados por un periodo de tiempo especificado (5 ms) antes de la transmisión. Si se detecta que el canal está inactivo sobre el periodo de tiempo especificado, el lector puede enviar el mensaje directamente por un máximo de 4 segundos y luego el lector activa el modulo receptor para detectar interferencia de señales. Si el canal está ocupado por otro lector, el lector buscará otro canal libre para transmitir mensajes.(Y. Zhang et al., 2010)

2.11. Protocolos anticolidión en etiquetas RFID

Una colisión entre etiquetas ocurre cuando dos o más etiquetas tratan de responder a la solicitud de un lector al mismo tiempo, las múltiples respuestas

confundirán al lector y lo imposibilitan de identificar alguna de las etiquetas que responden, que a su vez son los artículos etiquetados. Por lo tanto estos problemas pueden ser resueltos por los protocolos anticolidión, existen tres categorías, los basados en Aloha, los tipos Árbol y los basados en contadores.(Sanghera, 2006)

2.11.1. Protocolo Aloha

Los protocolos Aloha tienen un diseño de lectura más simple, menor complejidad del protocolo y requerimientos de ancho de banda, menor número de comandos de lector a etiqueta y se adaptan dinámicamente a la población variante de etiquetas(Bolic et al., 2010). Existen varios esquemas:

- Aloha puro (*Pure Aloha*)
- Aloha ranurado (*Slotted Aloha*)
- Aloha tramado ranurado (*Framed Slotted Aloha*)
- ISO/IEC 18000-6A

2.11.1.1. Aloha puro (*Pure Aloha*)

En la Figura 2.21 se muestra tres etiquetas en el área de interrogación de un lector, después de ser energizado, cada etiqueta responde aleatoriamente después de recibir una solicitud del lector. Si el lector recibe una respuesta con éxito, se transmite un acuse de recibo (ACK). Por otro lado, si hay una colisión, el lector transmite un ACK negativo (NACK), lo cual provoca que la etiqueta retransmita su identificación después de un retardo aleatorio. Existen varias optimizaciones para reducir colisiones.(Bolic et al., 2010)

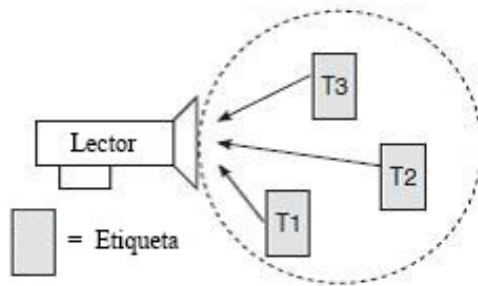


Figura 2.21: Interacción entre etiquetas y lector.

Fuente: (Bolic et al., 2010)

- Aloha puro con mute.
- Aloha puro con desaceleración
- Aloha puro con modo rápido
- Aloha puro híbrido (combinación de los anteriores)

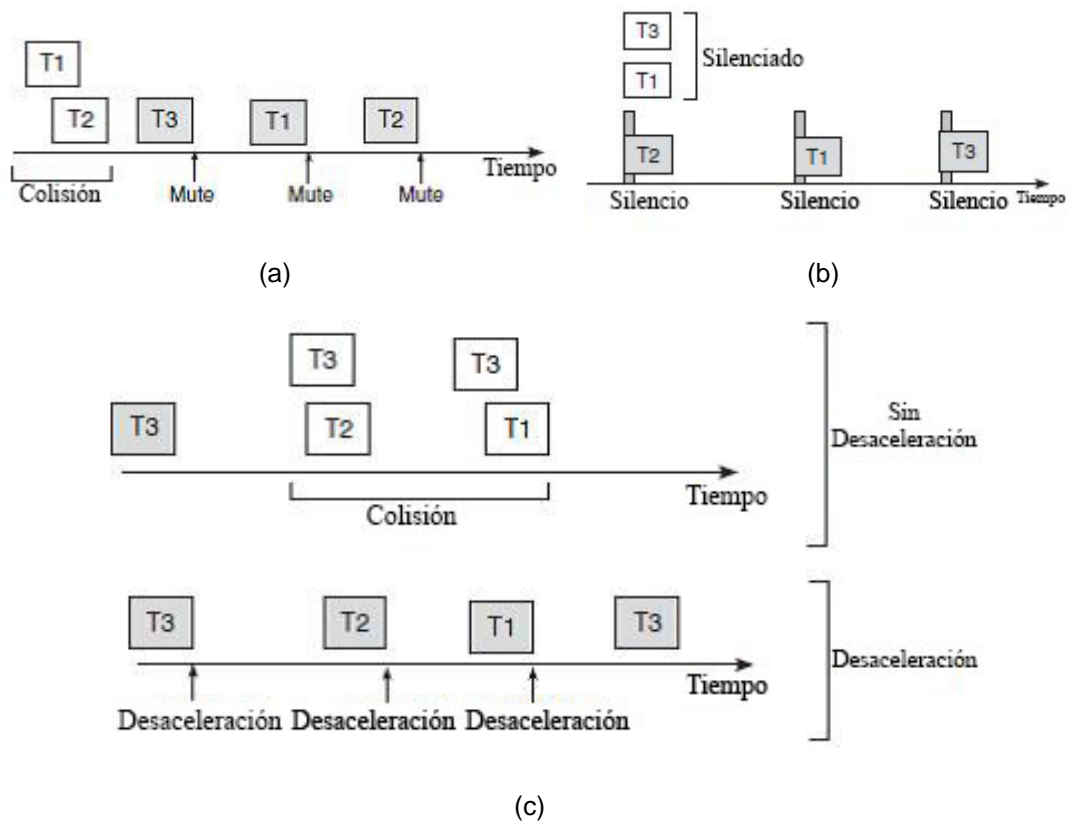


Figura 2.22: (a) Aloha puro con mute. (b) Aloha puro con modo rápido. (c) Aloha puro con desaceleración.

Fuente: (Bolic et al., 2010)

2.11.1.2. Aloha ranurado (Slotted Aloha)

En lugar de responder en una línea de tiempo continuo, se requiere que las etiquetas respondan en ranuras predefinidas. Esto significa que el lector y las etiquetas están estrechamente sincronizadas y a las etiquetas solo se les permite transmitir al comienzo de una ranura. Si hay una colisión, las etiquetas esperan a un número aleatorio de ranuras antes de retransmitir. La diferencia con Aloha ranurado es que las colisiones solo ocurren al inicio de cada ranura en contraposición a cualquier momento en Aloha puro. También existen numerosas variantes. (Bolic et al., 2010)

- Aloha ranurado con mute o con desaceleración
- Aloha ranurado con terminación temprana
- Aloha ranurado con terminación temprana y mute
- Aloha ranurado con desaceleración y terminación temprana

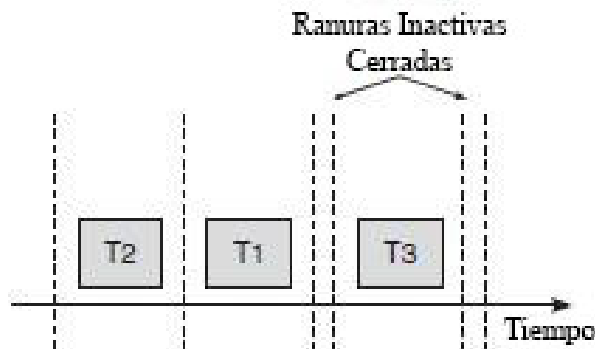


Figura 2.23: Aloha ranurado con terminación temprana.

Fuente: (Bolic et al., 2010)

2.11.1.3. Aloha tramado ranurado (Framed Slotted Aloha)

Un gran problema con Aloha puro y Aloha ranurado es que las etiquetas responden por lo menos una vez en un ciclo de lectura. Para resolver este problema, las variantes de Aloha tramado ranurado (*Framed Slotted Aloha*,

FSA) restringen la respuesta de la etiqueta a solo una en cada trama. Como resultado, la carga ofrecida al lector se reduce, y por lo tanto también lo hacen las colisiones. Además, permite a un lector estimar el número de etiquetas y en consecuencia el número de ranuras o el tamaño de las tramas solicitadas para minimizar colisiones y ranuras inactivas. Existen tres variantes.(Bolic et al., 2010)

- Básico (BFSA)
- Dinámico (DFSA)
- Mejorado/Hibrido

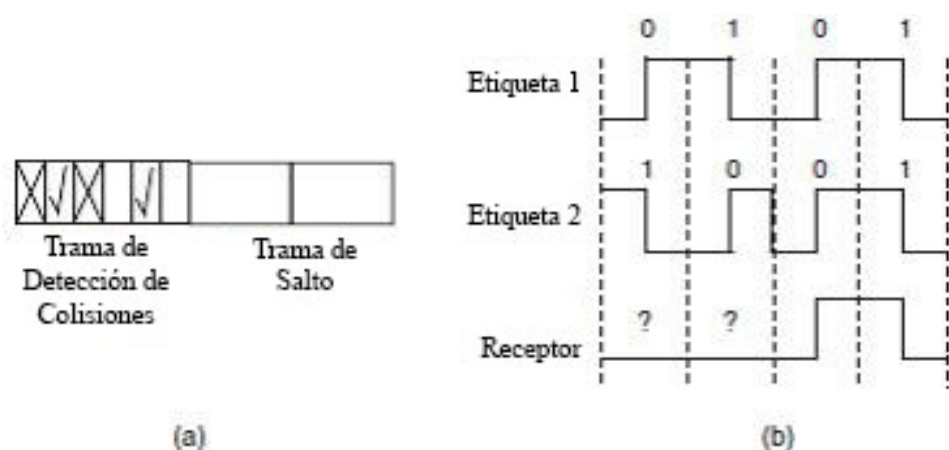


Figura 2.24: (a) Una trama de detección precede una trama de salto; en el ejemplo, solo dos etiquetas transmitieron su identificación satisfactoriamente. (b) Detección de colisiones usando código Manchester.

Fuente: (Bolic et al., 2010)

2.11.1.4. ISO/IEC 18000-6A

El estándar ISO/IEC 18000-6 define la interferencia aérea de comunicación a 860-960 MHz para sistemas RFID. Hay tres tipos (A, B y C) de protocolos de comunicación definidos en este estándar. Entre ellos los tipos A y C son basados en el protocolo Aloha. El protocolo tipo C es una derivación del protocolo tipo A.(Y. Zhang et al., 2010)

2.11.2. Protocolos Tipo Árbol

Los protocolos anticolidión basados en arboles realizan la identificación de etiquetas en unidades de ciclos de lectura. Un lector transmite una consulta o *feedback* a las etiquetas y luego una o algunas transmiten su identificación al lector. El lector reconoce todas las etiquetas en su rango de interrogación durante una trama de identificación, que consiste en varios ciclos de lectura. El lector intenta reconocer un grupo de etiquetas que transmiten al mismo tiempo en un ciclo de lectura.

Cuando existe una colisión el mecanismo divide el grupo de etiquetas en dos subgrupos por identificación o por números binarios aleatorios. Luego el lector trata de reconocer los dos subgrupos uno por uno en la misma trama, continuando el proceso de división hasta que cada grupo tengo una sola etiqueta. Existen varios tipos de estos protocolos basados en árboles.(Ilyas & Ahson, 2008)

- Árbol Binario (*Binary Tree*)
- Árbol de Consulta (*Query Tree*)
- EPCglobal Class 0
- TSA (*Tree Slotted Aloha*)
- Protocolos BSQTA y BSCTTA
- Protocolo AQS

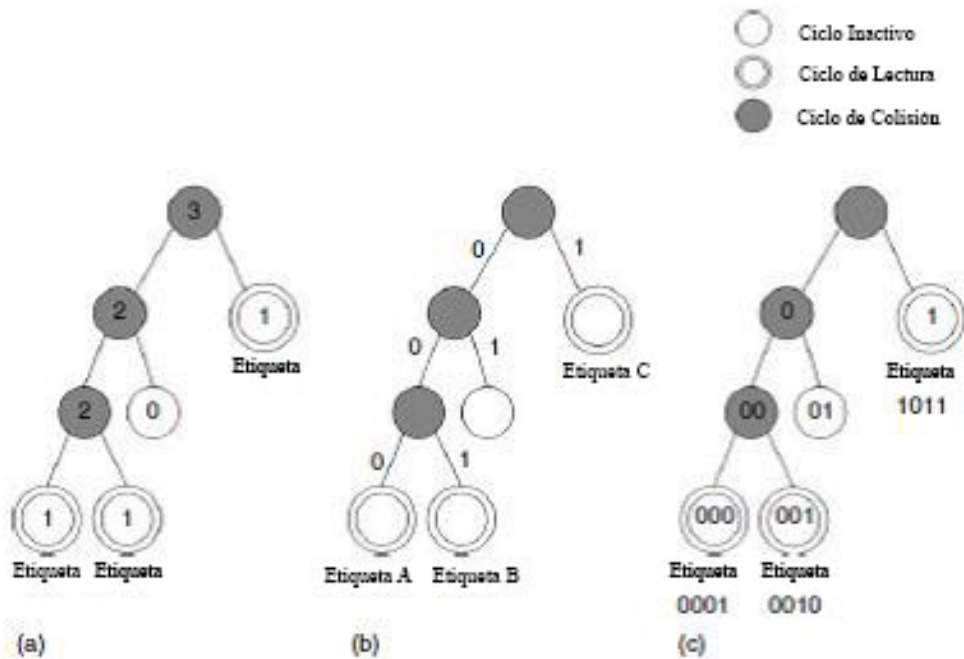


Figura 2.25: Identificación de etiquetas con protocolos basados en árboles. (a) Expresión arbórea de identificación de etiquetas. (b) Árbol Binario. (c) Árbol de consulta.

Fuente: (Ilyas & Ahson, 2008)

2.11.2.1. Árbol Binario (Binary Tree Protocol)

Utiliza números binarios para generados por etiquetas colisionadas para el proceso de división. La etiqueta tiene un valor de contador inicializado en 0 al principio de la trama. La etiqueta transmite su identificación cuando su contador esta en 0. Por lo tanto, todas las etiquetas, al principio de la trama, forman un grupo y transmiten concurrentemente. El lector transmite un *feedback* para informar la ocurrencia de colisiones. Las etiquetas seleccionan un número binario aleatoriamente cuando la transmisión causa colisiones. Añadiendo el número binario seleccionado al contador, un grupo es dividido en dos subgrupos. Cuando ocurren colisiones las etiquetas que no colisionaron aumentan su contador en 1. Cuando un lector envía un *feedback* de no colisión las etiquetas disminuyen su contador en 1. La etiqueta infiere una transmisión exitosa desde el siguiente *feedback* indicando no colisión. (Ilyas & Ahson, 2008)

2.11.2.2. *Árbol de consulta (Query Tree Protocol)*

Utiliza la identificación de la etiqueta para dividir un grupo, el lector transmite una consulta incluyendo una cadena de bits. La etiqueta cuyos primeros bits de identificación sean iguales a la cadena de bits de consulta, responde transmitiendo su identificación. Si la respuesta de la etiqueta a la consulta colisiona, el lector utiliza consultas un bit más largas en los próximos ciclos de lectura. El grupo que coincide con los bits de consulta se divide en dos subgrupos. Con la ampliación de la consulta hasta que una respuesta o falta de respuesta siga, todas las etiquetas son reconocidas. (Ilyas & Ahson, 2008)

2.11.2.3. *EPCglobal Class 0*

En este protocolo la etiqueta responde a la solicitud del lector con su primer bit de identificación. Cada etiqueta responde con un único bit a través de una de dos frecuencias subportadoras, una para el 0 binario y la otra para el 1 binario, para que el lector pueda reconocer el 0 y el 1 al mismo tiempo. Si el lector recibe 0 y 1 simultáneamente, este va a reconocer 0 a las etiquetas; de otra manera, el lector reconocerá el valor del bit recibido. Solo las etiquetas donde coincide su primer bit con el bit de reconocimiento puede responder al lector con su siguiente bit, mientras que las otras etiquetas entran en un estado mudo y permanecen en silencio hasta que reciban una solicitud del lector para responder en una nueva ronda de interrogación. Este procedimiento se repite bit a bit hasta que una etiqueta pueda responder con todos sus bits de identificación exitosamente. Luego la etiqueta entra en un estado inactivo para dormir hasta que el lector le solicite a todas las etiquetas que empiecen el proceso de interrogación nuevamente. (Y. Zhang et al., 2010)

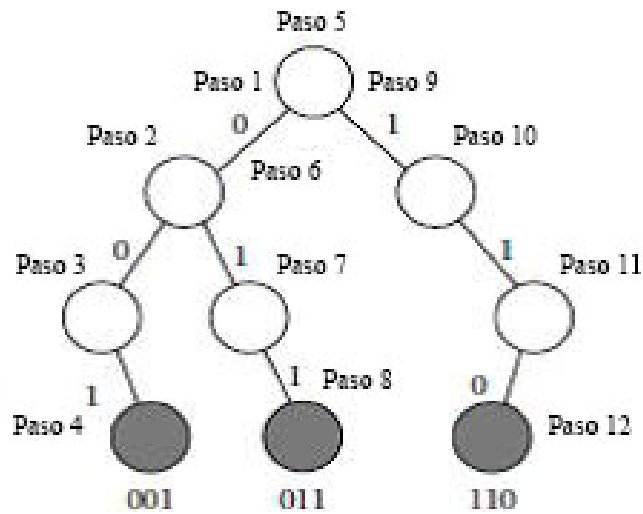


Figura 2.26: Estructura del protocolo EPCglobal Class 0.

Fuente: (Y. Zhang et al., 2010)

2.11.2.4. TSA (Tree Slotted Aloha)

Es un protocolo híbrido que integra los conceptos de divisiones tipo árbol y el protocolo tramado ranurado dinámico Aloha. En TSA, el lector primero decide el tamaño inicial S de la trama y se lo envía a todas las etiquetas para solicitar su identificación. Todas las etiquetas seleccionan aleatoriamente una ranura de tiempo numerada entre 1 y S para transmitir la identificación en respuesta al pedido del lector. Si solo hay una etiqueta que responde en esa ranura de tiempo, hay una identificación exitosa. Sin embargo, si hay múltiples respuestas de etiquetas en esa ranura de tiempo, el lector recuerda el número de la ranura y demanda que solo esas etiquetas respondan en la siguiente trama si todavía se encuentran colisiones en la trama, se realiza la misma acción es realizada para la división de etiquetas colisionadas en subgrupos de acuerdo a la estructura tipo árbol desde nivel superior hasta el nivel inferior.(Y. Zhang et al., 2010)

2.11.2.5. Protocolos BSQTA y BSCTTA

Son protocolos propuestos por Ji Choi, Dongwook Lee y Hyuckjae Lee (2006) para mejorar el protocolo de árbol de consulta. Reducen el tiempo de identificación con la ayuda de las respuestas de dos ranuras de tiempo.

2.11.2.6. Protocolo AQS

Es un protocolo anticolidión de etiquetas adaptativo propuesto por J. Myung, W. Lee, J. Srivastava y T. Shih (2007) para mejorar el protocolo de árbol de consulta. El concepto básico de este protocolo es reducir las colisiones referenciando la información de identificación de la etiqueta obtenida de la última ronda de identificación bajo la suposición que la población de etiquetas no tiene grandes cambios en rondas consecutivas. El proceso de identificación en el protocolo AQS es el mismo que en protocolo de árbol de consulta con la excepción de que la cadena de bits solicitada en la consulta es copiada de la última ronda de identificación. Si toda la población de etiquetas en la zona de interrogación permanece igual, todas las etiquetas pueden ser identificadas exitosamente sin modificar la solicitud de la cadena de bits en la consulta.(Y. Zhang et al., 2010)

2.11.3. Protocolos basados en Contadores

Los protocolos basados en contadores son como los protocolos basados en árboles, repetidamente dividen las etiquetas colisionadas en subgrupos hasta que solo una etiqueta en un subgrupo sea identificada exitosamente. La mayor diferencia entre estos dos tipos de protocolos es que los basados en arboles dependen en una identificación estática de etiqueta por una división determinística pero los basados en contadores dependen en contadores dinámicamente cambiantes para una división probabilística. Tiene la

propiedad de que su desempeño no es afectado por la distribución o la longitud de la identificación.(Y. Zhang et al., 2010). Existen 2 tipos:

- ISO/IEC 18000-6B
- Protocolo ABS

2.11.3.1. ISO/IEC 18000-6B

Es un estándar anticolidión a base de contadores, utiliza contadores dinámicamente cambiantes y un generador de bits aleatorios para la identificación de etiquetas. Todos los contadores de las etiquetas son inicializados en 0 y cada etiqueta con valor de contador 0 puede transmitir su identificación para responder la solicitud del lector. Cuando una colisión ocurre, el lector notifica a todas las etiquetas. Las etiquetas con un mayor valor en su contador lo incrementan en 1 y las etiquetas con el contador en 0 generen un número bit aleatorio, 1 o 0, y lo incrementan en su contador. Las etiquetas con contadores en 0 se dividen en 2 subgrupos, los contadores en 1 y los contadores en 0. El proceso de división se repite hasta que solo uno o ninguna etiqueta tengan su contador en 0. En el caso de que una solo etiqueta tenga su contador en 0, esta se ha identificado exitosamente y esta permanece en silencio hasta finalizar el proceso de interrogación. El lector luego envía un comando para que todos los contadores disminuyan su valor en 1 y el proceso continúa hasta que todas las etiquetas se hayan identificado exitosamente.(Y. Zhang et al., 2010)

2.11.3.2. Protocolo ABS

El protocolo ABS es propuesto para mejorar el protocolo ISO/IEC 1800-6B. Este protocolo utiliza dos contadores, PSC (*Progressed Slot Counter*) y ASC (*Allocated Slot Counter*). PSC representa el número de etiquetas identificadas exitosamente identificadas. Es inicializo en 0 y es incrementado en 1 cuando

se identifica una etiqueta exitosamente. Con PSC y ASC, una etiqueta puede decidir cuándo transmitir su identificación para responderle al lector. Todas las etiquetas con ASC igual al PSC pueden transmitir su identificación. Cuando no hay respuesta, todas las etiquetas con ASC mayor que el PSC disminuyen el valor de ASC en 1. Cuando ocurren colisiones, el lector informa a todas las etiquetas de las colisiones. Para ese caso, las etiquetas con ASC mayor que PSC incrementan su valor de ASC en 1, las etiquetas con ASC igual a PSC añaden un valor aleatorio entre 0 o 1 al ASC. Después de que todas las etiquetas hayan sido identificadas, las etiquetas tienen valores de ASC únicos y sucesivos, estos valores pueden ser reservados para usarlos en la próxima ronda de interrogación para acelerar este proceso.(Y. Zhang et al., 2010)

2.12. Codificación y modulación en RFID

La transferencia de datos entre etiqueta y lector en sistemas RFID requiere tres bloques funcionales. Del lector hacia la etiqueta, la dirección de la transferencia de datos, son: codificación de la señal y el modulador en el lector, el medio de transmisión y el demodulador y la decodificación de la señal en la etiqueta. Un sistema de codificación de señal toma un mensaje a ser transmitido y su representación de señal y la iguala óptimamente a las características del canal de transmisión, este proceso provee un cierto grado de protección en contra de la interferencia o colisiones y en contra de modificaciones intencionadas de ciertas características de la señal.(Finkenzeller, 2003)

2.12.1. Codificación en banda base

Sistemas RFID normalmente utilizan uno de los siguientes procesos de codificación: NRZ, Manchester, Unipolar RZ, DBP, Miller, codificación diferencial y codificación PP. Varias condiciones limitantes se deben tomar en cuenta al seleccionar un sistema de codificación adecuado para un sistema

RFID, la consideración más importante es el espectro de la señal después de la modulación.(Finkenzeller, 2003)

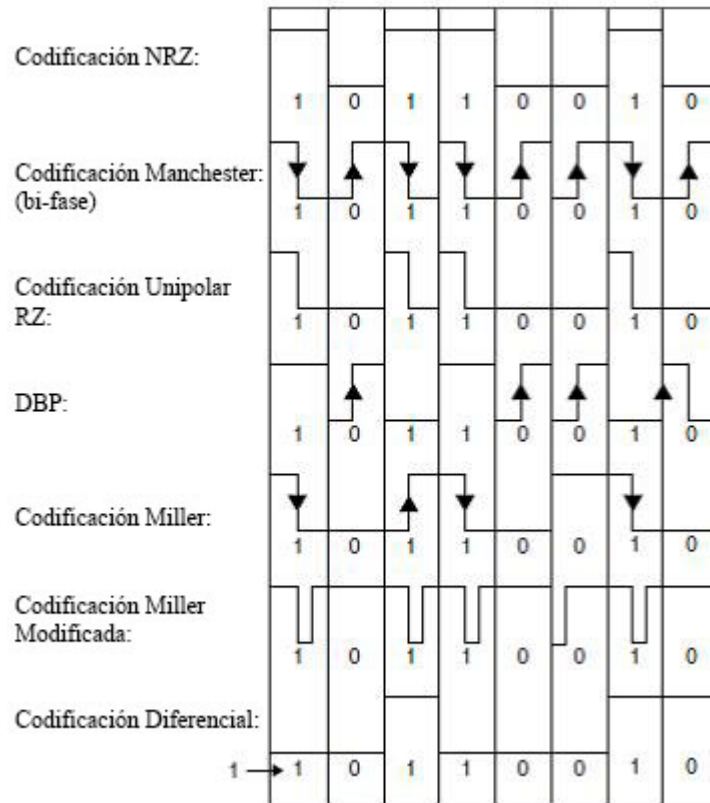


Figura 2.27: Codificación de señal cambiando frecuente mente líneas de código en sistemas RFID.

Fuente: (Finkenzeller, 2003)

2.12.2. **Procesos de modulación digital**

La modulación es el proceso de alterar los parámetros de una portadora de alta frecuencia, puede ser en amplitud, frecuencia o fase, en relaciona una señal modulado, la señal de banda base. Los procedimientos utilizados en sistemas RFID son los procedimientos de modulación digital como PSK (*Phase Shift Keying*), QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*) y PSAM (*Pilot Symbol Assisted Modulation*). Los principales factores que se esperan que creen una mayor aceptación de radios reconfigurables son ancho de banda limitado, multifuncionalidad, movilidad global, compacidad y eficiencia de

energía, facilidad de fabricación y facilidad de actualización.(Hannan, Islam, Samad, & Hussain, 2012)

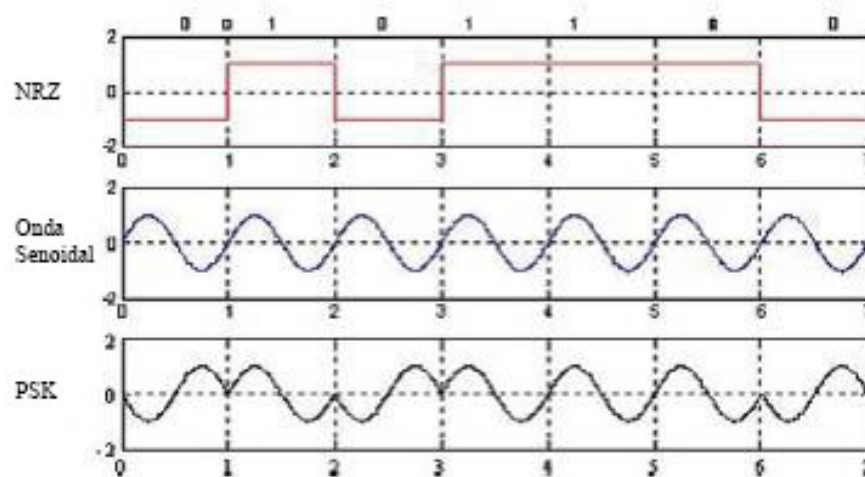


Figura 2.28: Forma de onda PSK desde una onda NRZ

Fuente:(Hannan et al., 2012)

2.13. Problemas en RFID

RFID tiene un vasto dominio y un gran número de aplicaciones, pero cada una de ellas generan sus propias restricciones. Las etiquetas UHF se han convertido en las más usadas, pero el intenso desarrollo de estas ha disminuido, la razón técnica principal es la falta de confiabilidad de las etiquetas, particularmente cuando están en otro entorno del que no fueron específicamente diseñadas. No existe actualmente etiquetas de uso universal, eso es una etiqueta que garantiza su funcionamiento sobre cualquier entorno. Para que esta tecnología sea económicamente viable, es importante que la etiqueta se pueda utilizar con el mayor número de objetos posibles.(Perret, 2014)

El problema de la robustez de lectura es sin duda la dificultad técnica más importante encontrada en UHF RFID, y los campos de aplicación de esta tecnología son verdaderamente limitadas como resultado de esto. Robustez

de lectura significa la capacidad del sistema de recobrar la información de la etiqueta independientemente del entorno en que se encuentre tanto la etiqueta como el lector, este concepto se caracteriza más precisamente a través de la velocidad de lectura de la etiqueta en un entorno dado.(Perret, 2014)

En RFID, el costo determina los materiales y las técnicas de producción en la manufactura de etiquetas, como ejemplo, el sustrato comúnmente utilizado es tereftalato de polietileno (PET), que es un plástico muy común. Con el fin de reducir costos y tener mejores proyecciones, una simple solución consiste en la producción de etiquetas sin chip. El costo de los lectores es otra desventaja, de hecho, incrementando la ganancia de la antena, es posible reducir significativamente el precio de las etapas de amplificación en el lector.(Perret, 2014)

2.14. Otras tecnologías inalámbricas

2.14.1. *Bluetooth (BT)*

Es una tecnología inalámbrica de corto rango que fue traída para reemplazar cables conectando dispositivos móviles. Está dirigida a aplicaciones de voz y datos, funciona en el espectro sin licencia de 2.4 GHz. Bluetooth opera a una distancia mínima de 10 metros o 100 metros dependiendo de la clase de dispositivo bluetooth. La tasa de datos máxima es de 3 Mbps, es capaz de penetrar objetos sólidos, es omnidireccional y no requiere una línea de visión directa con los dispositivos conectados, la especificación bluetooth permite tres modos de seguridad.(Bluetooth SIG, Inc., 2015)



Figura 2.29: Red Bluetooth

Fuente: (Abinayaa & Jayan, 2014)

2.14.2. Ultra-Wideband (UWB)

La tecnología UWB para redes de área personal ofrece una combinación única de bajo consumo de energía (1mW / Mbps) y un alto rendimiento de datos (hasta 480 Mbps). WiMedia UWB es un estándar reconocido internacionalmente (ECMA-368, ISO / IEC 26970 y ECMA-369, ISO / IEC 26908) y cuenta con la aprobación regulatoria en los principales mercados de todo el mundo, incluyendo Estados Unidos, la Unión Europea, Corea y Japón. Regiones como China y Canadá están esperando la aprobación regulatoria en un futuro próximo. (Bluetooth SIG, Inc., 2015)

Idealmente, tendrá un bajo consumo de energía, bajo precio, alta velocidad, utiliza una amplia franja del espectro radioeléctrico, transporta señales a través de obstáculos y se aplica a una amplia gama de aplicaciones. WiMedia UWB toma un enfoque de “plataforma de radio común” permitiendo que el mismo radio sea utilizado para una variedad de aplicaciones. (Bluetooth SIG, Inc., 2015)

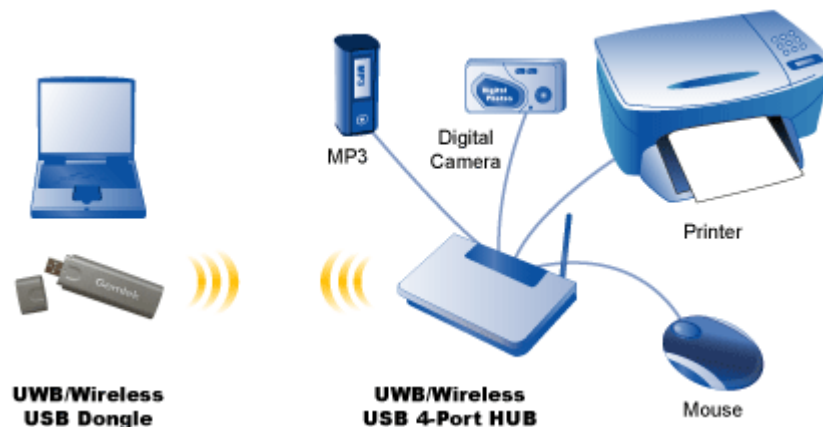


Figura 2.30: Red Ultra-Wideband.

Fuente: (Gemtek Technology Co., Ltd., 2006)

2.14.3. Certified Wireless USB

El USB inalámbrico certificado tiene una velocidad de 480 Mbps hasta dos metros y 110 Mbps para un máximo de 10 metros, un concentrador USB inalámbrico puede albergar hasta 127 dispositivos USB inalámbricos. Se basa y corre sobre el radio de la UWB promovida por la alianza WiMedia. Permite una conexión punto a punto entre los dispositivos y el concentrador USB inalámbrico. Intel estableció el “Wireless USB Promoter Group” en febrero del 2004, el *USB Implementers Forum, Inc.* (USB-IF) prueba y certifica los equipos inalámbricos del *Certified Wireless USB*. (Bluetooth SIG, Inc., 2015)



Figura 2.31: Certified Wireless USB.

Fuente: (USB Implementers Forum, Inc., 2007)

2.14.4. Infrarrojo (IrDA)

La tecnología de red de área local inalámbrica IrDA es una rama de la tecnología de red de acceso del protocolo IEEE 802.11. Como un medio para las comunicaciones en interiores o de corto alcance, la radiación infrarroja ofrece varias ventajas significativas sobre el radio. Emisores y detectores infrarrojos capaces de operación a alta velocidad están disponibles a bajo costo. La región del espectro infrarrojo ofrece un ancho de banda virtualmente ilimitado que no está regulado en todo el mundo.(Ali, Abdellatif Abouhogail, Tarrad, & Youssef, 2013)

Se utiliza las tecnologías de modulación como OOK, ASK, QPSK y PPM. PPM tiene el mejor compromiso de eficiencia de potencia y ancho de banda por eso es recomendado por la IEEE 802.11, es un estándar de transmisión inalámbrica ampliamente aceptado, es una tecnología *half-duplex*, datos en línea de vista, punto a punto y sin cables.(Ali et al., 2013)

2.14.5. Wi-Fi (IEEE 802.11x)

Wi-Fi (*Wireless Fidelity*) permite a los dispositivos comunicarse sobre una señal inalámbrica. Esta red es basada en el estándar IEE 802.11; incluyendo la 802.11a, 802.11b, 802.11g y 802.11n, usando un ruteador centralizado los dispositivos pueden compartir la señal Wi-Fi. La tecnología de enrutamiento Wi-Fi utiliza ondas para permitir la transferencia de datos a alta velocidad en distancias cortas. Wi-Fi permite a las redes de área local (LAN) operar sin cables, es popular para rede de trabajo y hogar, en general es utilizado para proveer acceso a internet a los diferentes dispositivos como laptops, smartphones, tablets, etc.(Abinayaa & Jayan, 2014)

Tabla 2.6: Estándares IEEE 802.11x.

Estándar	Características
802.11a	Estándar WLAN de alta velocidad, velocidad de datos de 54 Mbps usando modulación OFDM en la banda ISM de 5 GHz.
802.11b	El estándar Wi-Fi original, provee una velocidad de 11 Mbps usando DSS y CCK en la banda ISM de 2.4 GHz.
802.11d	Posibilita la configuración a nivel MAC de frecuencias permitidas, niveles de energía y ancho de banda de la señal para cumplir con las regulaciones RF locales, para así facilitar el roaming internacional.
802.11e	Dirige los requisitos de calidad de servicio (QoS) para todas las interferencias de radio de la 802.11, proveyendo TDMA para priorizar y corrección de errores para mejorar el rendimiento de las aplicaciones sensibles al retardo.
802.11F	Define prácticas recomendadas y un protocolo de inter-Access Point para permitir a los puntos de accesos intercambiar información requerida para apoyar los servicios de sistemas de distribución. Asegura la interoperabilidad de los puntos de acceso de diferentes fabricantes, por ejemplo, para soportar roaming.
802.11g	Mejora la velocidad de datos hasta 54 Mbps usando modulación OFDM en la banda ISM de 2.4 GHz. Interoperable en la misma red con equipos de la 802.11b.
802.11h	Administración del espectro en la banda de 5 GHz usando selección de frecuencia dinámica (DFS) y transmite control de potencia (TPC) para satisfacer los requisitos Europeos de minimizar la interferencia con los radares militares y las comunicaciones satelitales.
802.11i	Soluciona los fallos de seguridad en la autenticación de usuarios y los protocolos de cifrado. El estándar emplea <i>Advanced Encryption Standard</i> (AES) y autenticación 802.1x.
802.11j	Extensión regulatoria japonesa para la 802.11 ^a añadiendo canales RF entre 4.9 GHz y 5.0 GHz
802.11k	Especifica la optimización del rendimiento de la red a través de la selección de canales, roaming y TPC. El rendimiento global de la red es maximizado al cargar eficientemente todos los puntos de accesos en una red, incluyendo aquellas con una potencia de señal más débil.
802.11n	Proporciona mayor velocidad de datos desde 150, 350 y hasta 600 Mbps usando la tecnología de radio MIMO, canales RF más amplios y mantiene la compatibilidad hacia atrás con la 802.11a, 802.11b y la 802.11g.

802.11p	Acceso inalámbrico para el ambiente vehicular (WAVE), proporciona comunicación entre vehículos o desde a un vehículo hacia un punto de acceso en la carretera utilizándola banda del sistema de transporte inteligente (ITS) a 5.9 GHz.
802.11r	Habilita BSS (<i>Basic Service Set</i>) rápido para transiciones BSS para dispositivos móviles, para soportar servicios sensibles al retardo como VoIP en estaciones en roaming entre puntos de accesos.
802.11s	Extensión de la 802.11 MAC para soportar ESS (<i>Extended Service Set</i>) en redes de malla. Permite la entrega de mensajes a través de la autoconfiguración de las topologías de malla multisaltos.
802.11T	Prácticas recomendadas sobre métodos de medición, métricas de rendimiento y procedimientos de prueba para evaluar el rendimiento de los equipos y las redes de la 802.11.
802.11u	Enmiendas para capas PHY y MAC para proveer un enfoque genérico y estandarizado para la interoperabilidad con redes diferentes a la 802.11 como Bluetooth, ZigBee y WiMAX.
802.11v	Mejoras para aumentar el rendimiento, reducir interferencias y mejorar la fiabilidad a través de la gestión de la red,
802.11w	Aumento de la seguridad de la red mediante la extensión de la protección 802.11 para la administración y en tramas de datos.
802.11X	Control de acceso a la red basado en puertos que permite a los administradores restringir el uso de servicios LAN en puntos de acceso para asegurar la comunicación entre dispositivos autenticados y autorizados.
802.11y	Opera en la banda desde los 3650 MHz hasta 3700 MHz en Estados Unidos.
802.11z	Es un mecanismo que hace posible transferir datos directamente entre dos clientes Wi-Fi que son parte de la misma red Wi-Fi.
802.11aa	Esta enmienda precisa mejoras a la capa MAC para streaming robusto de audio y video mientras mantiene la coexistencia con otros tipos de tráfico.
802.11ac	Proporciona mayor rendimiento BSS para áreas de aplicación WLAN existentes y permite que nuevos segmentos de mercado funcionen por debajo de 6 GHz incluyendo la distribución de múltiples flujos de multimedia/datos.
802.11ad	Permite la operación en frecuencias alrededor de los 60 GHz capaz de un rendimiento muy alto.
802.11ae	Se proporciona un mecanismo para la priorización de las tramas de gestión y un protocolo para las políticas de priorización de la gestión de comunicación.
802.11af	Mejoras en las capas PHY y MAC para soportar operaciones en espacios blancos de televisión.

802.11ah	Define el funcionamiento de redes inalámbricas exentas de licencia en banda de frecuencia debajo de 1 GHz con excepción de las bandas de espacio blanco en televisión.
802.11ai	Provee a las redes inalámbricas métodos de configuración de enlace inicial rápido que no degraden la seguridad ofrecida por RSNA (<i>Robust Security Network Association</i>).
802.11aj	Proporciona conectividad inalámbrica para estaciones fijas, portátiles y móviles dentro de un área local.
802.11ak	Considera las necesidades tecnología WLAN para soportar enlaces de tránsito generales dentro de redes en puente.
802.11aq	Define modificaciones al estándar 802.11 sobre la capa PHY para permitir entregas del servicio de descubrimiento de pre-asociación en estaciones (STAs).
802.11ax	Permite al menos un modo de operación capaz de soportar una mejora de al menos cuatro veces en la producción media por estación en un escenario de implementación densa, manteniendo o mejorando la eficiencia de energía por estación. Define las operaciones en las bandas de frecuencias comprendidas entre 1 GHz y 6 GHz, permite la compatibilidad hacia atrás y la coexistencia con los dispositivos de la 802.11 que operan en la misma banda.
802.11ay	Habilita al menos un modo de operación capaz de soportar un rendimiento máximo de al menos 20 Gbps manteniendo o mejorando la eficiencia de energía por estación. Define operaciones de bandas exentas de licencias por encima de los 45 GHz mientras garantiza la compatibilidad y coexistencia con estaciones multi-gigabit direccionales que operan en la misma banda.
802.11az	Define modificaciones en las capas MAC y PHY de <i>High Throughput</i> (HT), <i>Very High Throughput</i> (VHT), <i>Directional Multi Gigabit</i> (DMG) y otras en desarrollo para determinar con mayor precisión la posición absoluta y relativa mientras reduce el uso del medio inalámbrico y el consumo de energía, es escalable para despliegues densos.

Fuente: (International Organization for Standardization, International Electrotechnical Commission, & Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2012; Rackley, 2007)

2.14.6. Near Field Communication (NFC)

Es una tecnología que opera en el corto rango de 4 a 10 centímetros para la comunicación, está basada en la tecnología de identificación por

radiofrecuencia (RFID). Un dispositivo NFC genera una radiofrecuencia en el espectro de los 13.56 MHz. Un receptor puede recibir los datos a través del principio del acoplamiento magnético inductivo si se encuentra a una estrecha proximidad. Transmisor y receptor son pequeños chips que son capaces de ser integrados en dispositivos como los smartphones, terminales *Point of Sale* (POS) y muchos otros artículos.(Ali et al., 2013)

El foro NFC se formó en 2004 con el objetivo de estandarizar la tecnología NFC. Se puede utilizar como una tecnología de pago móvil porque es de fácil uso, consume muy poca energía y provee un gran mecanismo de seguridad. Pero NFC tiene sus limitaciones, solo funciona a muy cortas distancias y solo soporta comunicación punto a punto.(Ali et al., 2013)



Figura 2.32: Móvil con NFC.

Fuente: (Ebere, 2015)

2.14.7. ZigBee (IEEE 802.15.4)

En el 2002 varias compañías decidieron formar la alianza ZigBee para construir las capas estandarizadas faltantes que serían necesarias para permitir una red en malla multi-proveedor superior a los enlaces de radio de

la 802.15.4. Al 2016 la alianza ZigBee cuenta con alrededor de 400 miembros.(Hersent, Boswarthick, & Elloumi, 2012)

ZigBee está sobre la capa física (PHY) de la IEEE 802.15.4 y la capa MAC, que provee la funcionabilidad de la capa física y de enlace del modelo OSI. La velocidad de datos en ZigBee es 250 Kbps a 2.4 GHz, 40 Kbps a 915 MHz y 20 Kbps a 868 MHz, siendo menor que Wi-Fi y Bluetooth, pero consume menor energía. ZigBee permite equipos pequeños y de bajo costo para transmitir rápidamente porciones pequeñas de datos como es la temperatura, pedidos de encendido y apagado, etc.(Lehpamer, 2012)

ZigBee 3.0 es la unión de los estándares inalámbricos en el mercado de la alianza en un solo estándar. Permite la comunicación y la interoperabilidad entre dispositivos para el hogar inteligente, iluminación conectada y otros mercados más diversos, soluciones totalmente interoperables son entregadas por los desarrolladores de productos y proveedores de servicios.(ZigBee Alliance, 2014)

ZigBee es fiable y robusto y utiliza redes de malla de múltiples saltos para eliminar puntos únicos de fallo y ampliar el alcance de las redes. Con la función de *Green Power* no necesita ninguna batería, es escalable y compatible con las redes de miles de nodos que proporcionan una red para el hogar inteligente o la ciudad inteligente, es seguro y utiliza una variedad de mecanismos de seguridad como el cifrado AES-128. ZigBee es global y se basa en 2.4 GHz, que está disponible para su uso sin licencia en cualquier lugar del mundo. Esto significa que un desarrollador de productos puede vender el mismo producto en cualquier parte del planeta.(ZigBee Alliance, 2014)

La versión inicial de ZigBee 3.0 incluye *ZigBee Home Automation*, *ZigBee Light Link*, *ZigBee Building Automation*, *ZigBee Retail Services*, *ZigBee Health Care*, y los servicios de telecomunicaciones ZigBee. Esto significa que una

gran variedad de dispositivos inteligentes pueden interoperar sin problemas dando lugar a nuevas e innovadoras soluciones de IoT.(ZigBee Alliance, 2014)



Figura 2.33: Red ZigBee.

Fuente: (Richardson, 2015)

CAPÍTULO 3: APLICACIONES RFID

Utilizando sistemas RFID se pueden lograr un sin número de aplicaciones para localizar, rastrear y administrar objetos en tiempo real, en automotores, rastreo de animales, sistemas de pago, cadena de suministros, en hospitales, inventario en librerías, gestión y protección de infraestructuras, logística y transporte, seguridad y control y muchas más, en este capítulo hablaremos de algunas de estas aplicaciones RFID y como se utilizan.

3.1. RFID en la cadena de suministros

Los sistemas RFID son utilizados en la cadena de suministros de fabricantes mayoristas, aquí es donde se lleva el control de rastreo y la identificación de componentes, elementos y materiales que se mueven hacia dentro o fuera de las instalaciones del fabricante.

Existen envíos entrantes y salientes de la fábrica, envíos entrantes es cuando llegan suministros desde el almacén del proveedor hasta la fábrica, los palets y envíos grandes son enrutados utilizando etiquetas RFID, los envíos salientes son los productos terminados que son movidos fuera de la planta de fabricación hacia el almacén del fabricante y finalmente hacia el almacén del cliente.

Las etiquetas se colocan en las cajas y palets de las piezas a medida de que salen del almacén del proveedor. Al llegar al almacén del fabricante, las etiquetas RFID proveen información importante con respecto a las partes que han sido enviadas. Debido a que es una entrega de una empresa a otra, el lector RFID del fabricante debe ser compatible con la categoría y el tipo de etiqueta empleada por el proveedor. Los lectores se colocan en las entradas de envío y recepción del almacén para interrogar las etiquetas en las cajas y palets de los envíos que llegan.

Las partes que llegan se incorporan al proceso de fabricación, lo que resulta en productos terminados. Estos productos se colocan en una cinta transportadora y se le van poniendo etiquetas de lectura-escritura. Luego las etiquetas pasan por la antena y el lector, simultáneamente, la interfaz del lector lee y escribe información en las etiquetas para identificar los productos. Luego los productos se colocan en cajas y palets que también son etiquetados, se colocan en el almacén del fabricante para luego ser enviadas a los almacenes de los minoristas.

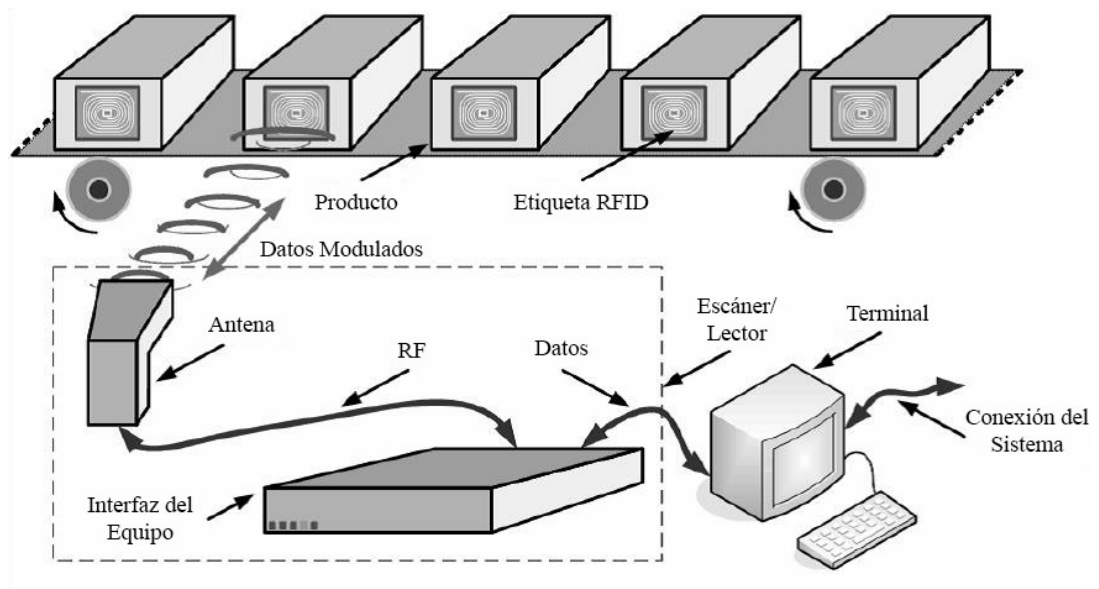


Figura 3.1: Etiquetado en la cadena de suministro.

Fuente: (Thornton, 2006)

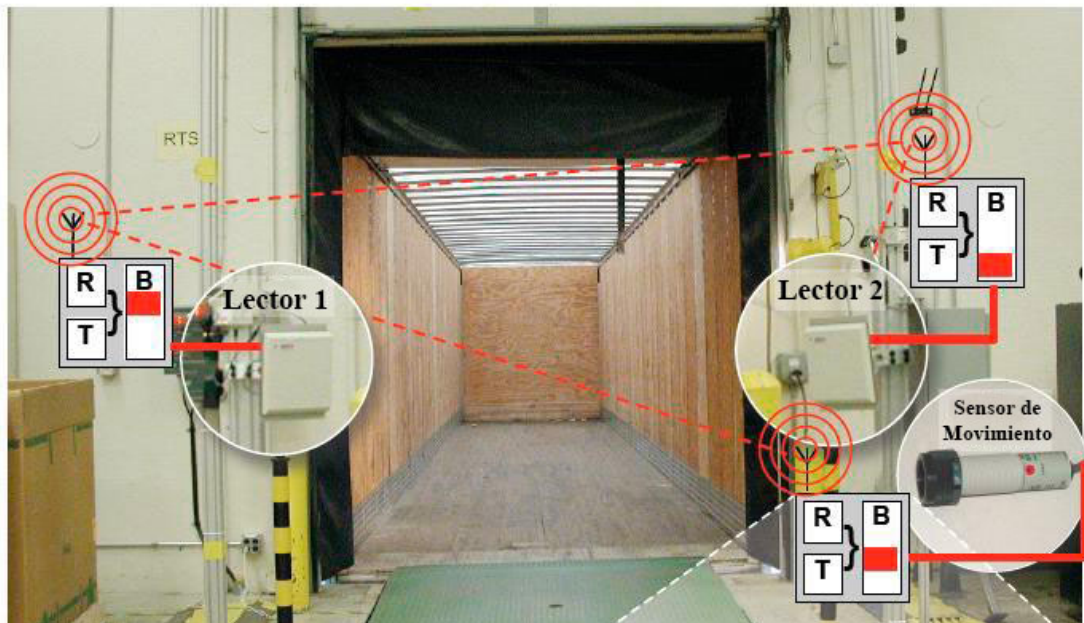


Figura 3.2: Lectores RFID en la entrada del almacén de la fábrica.

Fuente: (Yang, 2010)

- **Caso Wal-Mart**

En Junio del 2003, Wal-Mart, una de las corporaciones más grande de América, emitió un anuncio que conmocionó a toda la industria de productos de consumo y a la industria de la tecnología RFID. El vicepresidente ejecutivo y CIO Linda Dillman hizo un anuncio requiriendo a los top 100 proveedores de Wal-Mart usar RFID en las cajas y palets del inventario enviados a los distribuidores para el 1 de Enero del 2005. En poder de compra de Wal-Mart hizo que los proveedores mayoristas de casi toso los productos consumibles se sienten y presten atención a lo que decía Wal-Mart.

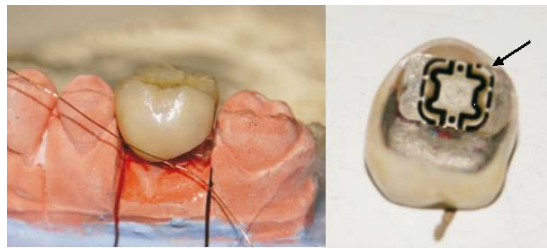
Como resultado de la implementación de etiquetas RFID se obtuvo un 16% de reducción en productos agotados, los productos agotados eran rellenados tres veces más rápido utilizando el código EPC, las tiendas equipadas con RFID fueron un 63% más efectivas reponiendo productos agotados que en otras tiendas y se estimó un ahorro de \$8 billones anuales implementando el sistema RFID en todas sus instalaciones.

3.2. RFID en la biomedicina

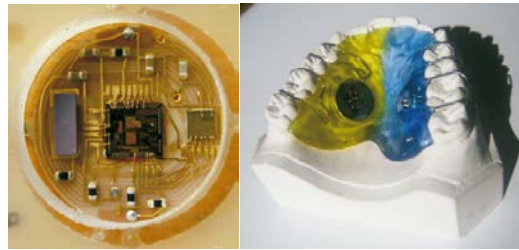
Según el artículo de Roberto Marani y Anna Perri (2015) el rápido desarrollo de la tecnología RFID ha permitido la miniaturización y la gran compatibilidad en los aspectos electromagnéticos de las etiquetas RFID, esto ha hecho posible su uso en el campo de la biomedicina permitiendo la fabricación de dispositivos que pueden ser implantados en el cuerpo humano, para ser usados como identificación, para el seguimiento y tratamiento de enfermedades humanas.

Para estas aplicaciones se utilizan etiquetas pasivas para lograr distancias de lectura menores a 10 cm. Los implantes RFID pueden ser explotados para monitorear actividad biológica o funciones físicas, inclusive modificarlas, actuando como dispositivos terapéuticos. Las aplicaciones terapéuticas RFID están en una etapa temprana y necesitan más trabajo de investigación. Las señales RF pueden ser utilizadas para controlar directamente reacciones biomoleculares. Las aplicaciones biomédicas RFID pueden ser:

- Prótesis dental fija con una etiqueta RFID.
- Sistemas RFID para el monitoreo de retenedores dentales.
- Etiqueta pasiva RFID implantable para el monitoreo continuo de glucosa.
- Etiqueta RFID implantable para la identificación de prótesis ortopédicas.
- Monitoreo remoto de los latidos del corazón.
- Sensor RFID para la detección de infarto agudo de miocardio.
- Etiquetas RFID para el control de la posición de tubo endotraqueal.



(a)



(b)

Figura 3.3: (a) Etiqueta RFID insertada en primer molar inferior. (b) Retenedor dental con sistema RFID dentro de la boca.

Fuente: (Marani & Perri, 2015)

3.3. RFID en la confección y fabricación de textiles

Según el artículo de R. Nayak, A. Singh, R. Padhye y L. Wang (2015) el uso de sistemas RFID en textiles esta incrementado rápidamente. En el futuro casi todos los fabricantes, distribuidores y minoristas en el negocio de textiles usaran sistemas RFID. Aunque, los sistemas RFID no pueden reemplazar completamente al código de barras, debido al mayor costo pero la precisión, la velocidad y el retorno de las inversiones es mayor con sistemas RFID. Esta tecnología se convertirá omnipresente en el futuro y se utiliza para resolver los problemas como:

- Gestión de inventario.
- Control de producción.
- Administración de distribuidores.
- Segregación de marca.
- Probadores de ropa.
- Etiquetado electrónico.

- Administración de las relaciones con los clientes.

Los fabricante, distribuidores y las compañías de bienes de consumo como CVS, Tesco, Prada, Benetton, Wal-Mart y Procter & Gamble ahora implementan la tecnología y exploran el impacto en sus negocios. La industria de la moda puede ser dividida en cuatro sectores como manufactura, trasportación internacional, distribución y venta al por menor. En la manufactura, RFID puede ser utilizado para evitar la mezcla de productos y componentes, y la mezcla de diferentes accesorios. En la trasportación internacional puede ser usado para seguir y localizar, el envío antes y después del libre abordaje, si el producto es externalizado. RFID soluciona problemas de clasificación y rastreo, así reduciendo el tiempo de distribución. En las tiendas minoristas el espacio es constante por lo que se debe usar eficientemente, se utiliza RFID para manejar las existencias e identificarlas rápida y correctamente y así evitar búsquedas innecesarias.



Figura 3.4: Etiqueta RFID TexTrace.

Fuente: (Swedberg, 2012)

3.4. RFID en las bibliotecas

Según el artículo de N. Singh y P. Mahajan (2014) las bibliotecas no se quedan atrás en el uso de la tecnología RFID. Las bibliotecas están etiquetando libros para localizar rápidamente libros fuere de lugar en los estantes y permitir el autoservicio. Se utiliza etiquetas RFID para identificar material de la biblioteca y la tarjeta de la biblioteca, lo que permite a las

personas caminar a través de una estación de autoservicio equipado con lectores RFID para sacar libros de la biblioteca. El sistema RFID hace más fácil y rápido el autoservicio para los usuarios de las bibliotecas. Con lectores portables RFID se puede hacer el inventario solamente pasando despacio a través de las estanterías sin tener que manejar cada artículo individualmente. El uso de RFID ahorra tiempo y opera de manera más eficiente que el código de barras. Mayor habilidad en el manejo materiales de audio y video, la detección antirrobo es innovadora y segura con sistemas RFID. Sin embargo, el factor costo es la principal barrera para utilizar al máximo la tecnología. Como cada vez más fabricantes de etiquetas, lectores y software RFID entran al mercado se espera que el precio de la tecnología disminuya y las aplicaciones prácticas continuaran creciendo.

Finalmente las etiquetas duran más que los códigos de barra porque nada entra en contacto con estas. La mayoría de los fabricantes afirman que se necesita un mínimo de 100.000 transacciones antes que una etiqueta tenga que ser reemplazada.



Figura 3.5: Sistema RFID para bibliotecas.

Fuente: (BookTec Information Co., 2004)

3.5. RFID en la gestión de mantenimiento de la aviación

En el artículo de Qiang Li y Hua Long Liu (2013) se dice que la gestión del mantenimiento de la aviación incluye básicamente la gestión de las herramientas de mantenimiento de la aeronave, materiales y personal de mantenimiento. La gestión del material de aviación sostiene que la continua aeronavegabilidad de los materiales de aviación incluye el envío de materiales para reparar las aeronaves y hacer un inventario de ellos. El sistema de información para la gestión de materiales de información debe soportar la indagación del estado de los materiales de aviación en línea y el correspondiente inventario de existencias. Usualmente ese sistema puede trabajar automáticamente y el trabajo de seguimiento debe ser realizado por el hombre. Con la tecnología RFID el sistema puede alcanzar el inventario automático de materiales de aviación.

La gestión de las herramientas de mantenimiento no solo refuerza la gestión de activos sino que también garantiza la estandarización de la calidad del trabajo de mantenimiento, desde que dejar herramientas olvidadas en las aeronaves es considerado como un tipo de accidente grave que afecta al vuelo. La gestión del personal de mantenimiento consiste en dos aspectos, uno es la calificación del personal de mantenimiento y la otra es el control de seguridad. Las aerolíneas y el departamento de mantenimiento de aviación no tienen usualmente un solo tipo de avión, y el mantenimiento del mismo tipo de avión requiere más de una sola tarea. Por eso se necesita un entrenamiento perfecto, una estricta certificación y autorización, una gestión de tipo de avión y un sistema de gestión de ingeniería de mantenimiento estricta para asegurar que el mantenimiento se adhiere a las normas establecidas por los productores.



Figura 3.6: Un usuario coloca el lector RFID de mano SmartStem sobre el medidor de presión que transmite la temperatura, la presión y el número de identificación único del neumático.

Fuente: (Swedberg, 2013)

3.6. Bastón guía RFID para no videntes

En el estudio publicado por Liao et al (2013) se diseñó un bastón guía RFID para los no videntes como un sistema de navegación. Ubicación geográfica, señales de tráfico, información comercial se guardan en una serie de etiquetas RFID construidas debajo de las aceras, con el bastón guía se leen las etiquetas RFID, los no videntes pueden localizarse ellos mismos, ser conscientes de las señales del semáforo y encontrar información de negocios cerca de ellos en el camino. Después de que el usuario fija el destino, el bastón automáticamente dirige la ruta para los usuarios a través de audífonos mediante la especificación de la ubicación actual y el seguimiento de ubicaciones anteriores. Comparado con el GPS, el bastón guía RFID es un sistema más fiable, más preciso, ahorra costos y es versátil en la prestación de servicios de localización precisa para los no videntes. El bastón guía RFID tendría un costo de \$100 y las etiquetas UHF RFID valdrían \$0.1 por lo que no es un sistema tan caro de implementar y es beneficioso para las personas no videntes.

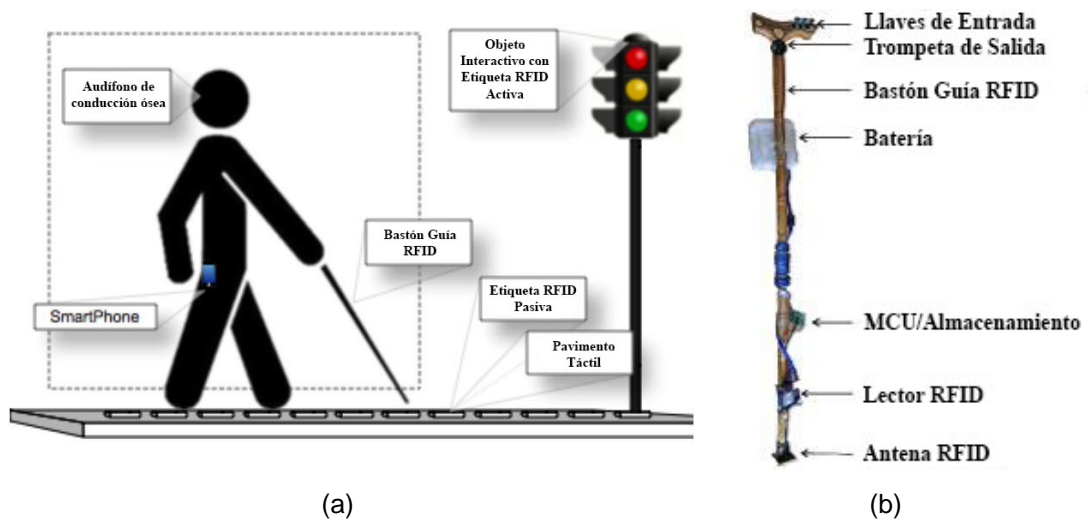


Figura 3.7: (a) Diseño del sistema en modo navegación. (b) Prototipo del bastón guía RFID.

Fuente: (Liao et al., 2013)

3.7. RFID en la industria automotriz

Los fabricantes de automóviles han añadido la seguridad en los autos mediante el uso de la tecnología RFID para sistemas inmovilizadores antirrobo. En artículo de Samuel Greengard (2016) se habla de la iniciativa RFID de *Volvo Car Group*, esta ha recurrido a la tecnología RFID para satisfacer las demandas y complejidades de fabricación mundial. El fabricante sueco ha confiado en la tecnología desde finales de 1990 y se ha adoptado ampliamente la tecnología para proyectos de nicho. Ahora, la compañía ha puesto en marcha una iniciativa de fabricación inteligente diseñado para automatizar las líneas de producción, rapidez en la fabricación y reducción de costos en las plantas de fabricación de Suecia, Bélgica y China. RFID hace posible que Volvo pueda ensamblar más fácilmente diferentes modelos de vehículos en la misma línea de producción; incluyéndolos modelos V40, XC60 y S60 en Bélgica, el V60, V70, S90 y XC90 en Suecia; a la vez gestionando innumerables variaciones y detalles a través de un proceso de fabricación que abarca numerosas estaciones, incluyendo soldadura, pintura y ensamblaje. Se trata de un proceso de fabricación complicado que requiere un nivel muy alto de precisión y exactitud.



Figura 3.8: Ensamblaje de varios modelos de vehículos Volvo en la misma línea de producción.

Fuente: (Greengard, 2016)

3.8. RFID en la identificación de animales

La tecnología RFID puede ser utilizada para la gestión de ganadería, el etiquetado de mascotas, animales salvajes y animales de laboratorio. En el artículo de Elizabeth Wasserman (2009) dice que se espera que la adopción de la tecnología RFID para rastrear y localizar el ganado sea rápidamente acogido gracias al apoyo de los gobiernos y en algunos casos en mandatos. En algunos países como Australia y Canadá es obligatorio el uso de RFID para rastrear el ganado. Los Estados Unidos y algunos otros países están pidiendo a los agricultores participar voluntariamente en los programas de “seguimiento y localización” sin especificar el tipo de tecnología de identificación que debería ser utilizado. Durante miles de años los animales han sido marcados, tatuados o identificados con etiquetas numeradas en la oreja. Al principio esto se utilizaba para delimitar la propiedad de animales valiosos, pero luego de los brotes de enfermedades del ganado en Europa durante el siglo 18, algunos gobiernos comenzaron a exigir a los propietarios mantener certificados de papel que acrediten el origen de los animales y su salud. Ha habido un empuje para cambiar el sistema de seguimiento en papel o el código de barras a sistemas RFID, que es más automatizado y menos propenso a errores humanos.



Figura 3.9: Etiqueta RFID en ganado.

Fuente: (Wasserman, 2009)

3.9. RFID en transporte y logística

La logística y el transporte son las principales áreas de aplicación de la tecnología RFID. Gestión de depósitos, centros de envío, carga y distribución utilizan la tecnología RFID para el seguimiento. En la industria ferrocarril, las etiquetas en locomotoras y material rodante identifican al propietario, número de identificación, tipo de equipo y sus características. Esto se puede utilizar con una base de datos para identificar el embarque, origen, destino, etc., de las materias primas que están siendo transportadas. En la Figura 3.10 se muestra el ciclo de logística y transportación que utiliza tecnología RFID para una mejor gestión y automatización.

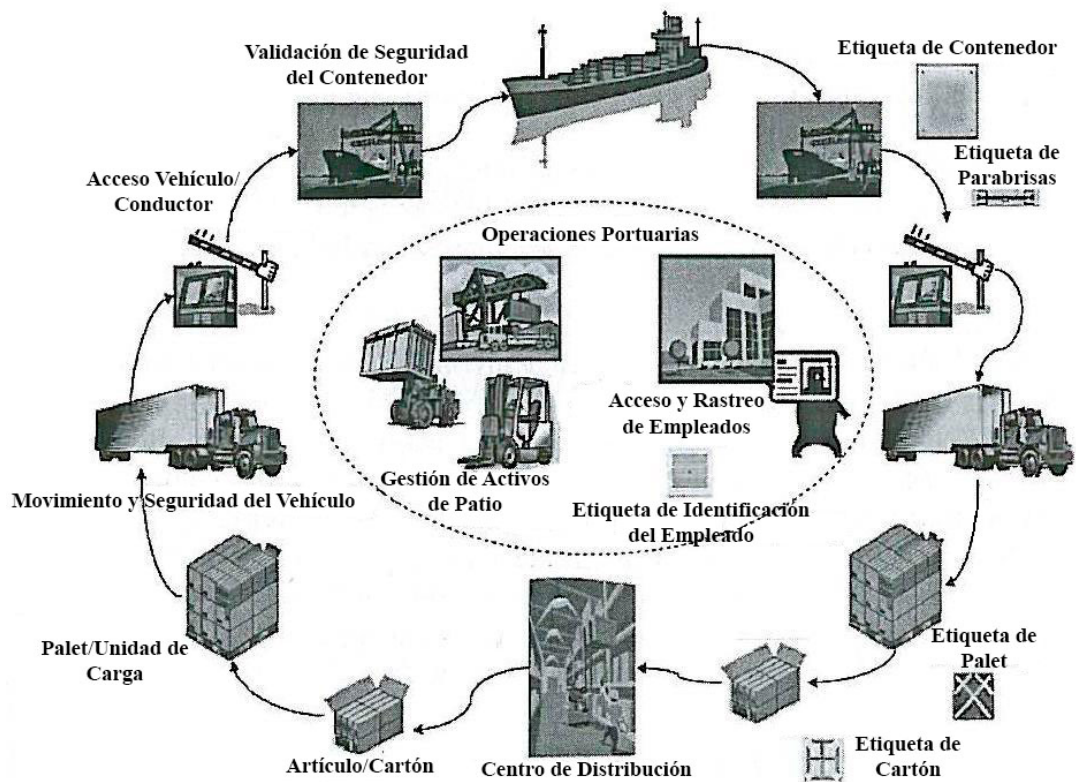


Figura 3.10: Transporte y logística en RFID.

Fuente: (Vaculk, Kolarovszki, & Tengler, 2013)

3.10. RFID en seguridad y control de acceso

Las etiquetas RFID se pueden unir a las tarjetas de identificación y vehículos. Haciendo esto, se pueden crear zonas seguras que permiten solo a los vehículos o personal autorizado entrar o salir. Las tarjetas de acceso RFID sólo tienen que ser colocadas cerca o dentro de una distancia razonable del lector, en contraste de un deslizamiento de las tarjetas que pueden o no ser registradas. Son más seguras que las tarjetas magnéticas ya que están embebidas de una tecnología anti-clonación. Se utiliza como control automático de acceso en áreas restringidas. Capacidad para almacenar un registro electrónico de que personal ha tomado y devuelto inventario restringido, permite vigilancia con cámaras y equipo de grabación de video que puede ser activado cuando ocurran ciertos eventos RFID específicos, notificaciones en tiempo real si el acceso restringido es permitido o violado.

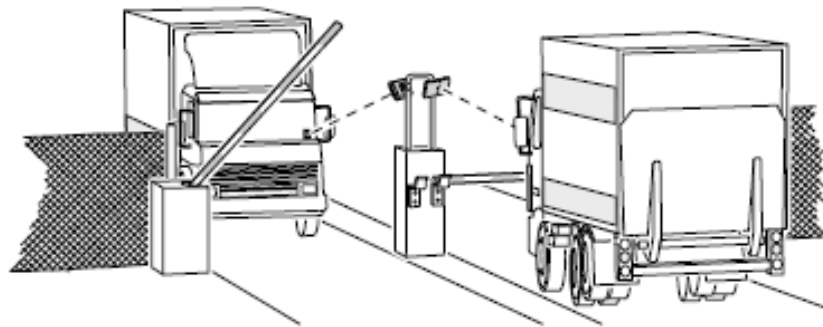


Figura 3.11: Identificación vehicular automática utilizando RFID.

Fuente: (TagMaster, Inc., 2016)

3.11. RFID en los sistemas de pago sin contacto

Según el artículo en conferencia de I. Lacmanović, B. Radulović y D. Lacmanović (2010) los sistemas de pago sin contacto representan los pagos sin efectivo que no requieren de contacto físico entre los dispositivos utilizados, entre el pago del consumidor y los terminales de punto de venta (*Point of Sale, POS*) del comerciante. RFID se puede embeber en diferentes formas como tarjetas, llaveros, integrado a un reloj, smartphones, etc. Este tipo de pago es compatible con las tarjetas de los tres mayores sistemas de pago: Visa (*Visa Contactless*), MasterCard (*MasterCard PayPass*) y American Express (*ExpressPay*). Todos estos productos funcionan conforme al estándar internacional ISO 14443, que proporciona un sistema único de pago en todo el mundo. La implementación de sistemas de pago sin contacto está basada en la misma infraestructura que existe para las tarjetas de pago con bandas magnéticas y no requiere inversiones adicionales por parte de las instituciones financieras más que la de actualizar el terminal POS existente. Las soluciones tecnológicas utilizadas para la implementación son soluciones basadas en el estándar ISO 14443, tecnología Sony FeliCa, fichas RFID y sistemas NFC.



Figura 3.12: Servicio de pago de MasterCard PayPass.

Fuente: (Bodhani, 2013)

3.12. Pasaporte electrónico

El pasaporte electrónico es la nueva generación de pasaportes, un chip RFID es implementado en cada pasaporte. El chip guarda la información digital y los datos biométricos del portador del pasaporte. También almacena digitalmente los últimos registros de viajes. El objetivo principal es reducir el fraude, realizar un control de migración más rápido y mejorar el nivel de seguridad. Según G. Ezovski y S. Watkins (2007) los países que participaron en el programa de exención de visado (VWP) comenzaron a emitir pasaportes electrónicos en el 2006. Sin embargo, la selección de tecnologías permanece cuestionable debido a problemas de seguridad y privacidad.



Figura 3.13: Pasaporte electrónico.

Fuente: (Vinmathi, Pugazhendhi, & Mercy, 2011)

3.13. RFID en sistemas de pago de peajes

El E-ZPass es un sistema de pago RFID aceptado para el pago de peajes en las autopistas y puentes en la mayor parte de Estados Unidos. Según Frank Thornton (2006) el E-ZPass tiene sus inicios con varias agencias de peaje en New York, New Jersey y Pennsylvania. Frente a la congestión del tráfico y los retrasos, las agencias consiguieron juntos desarrollar un sistema de peaje electrónico que aceleraría el tráfico y también sea interoperable entre los viajeros que se desplazan entre diferentes estados. El Grupo Interagencial E-ZPass (IAG) fue creado en 1991. El sistema E-ZPass consiste en etiquetas RFID activas que emiten señales de radiofrecuencia en la banda de los 900MHz. Las etiquetas E-ZPass se colocan en cada vehículo individual y los lectores RFID están colocados en los carriles de tráfico. A medida que el vehículo pasa por el carril designado a E-ZPass, en la cabina de peaje, la señal transmite la señal a una red informática que al final se comunica con una base de datos de facturación. La cuenta del conductor es debitada por pasar por el peaje. Las etiquetas E-ZPass son aproximadamente del tamaño de una baraja de cartas, es montado en el interior del parabrisas o en el exterior del vehículo si el parabrisas interfiere con la señal RFID.



Figura 3.14: Peaje E-ZPass.

Fuente: (Thornton, 2006)

3.14. RFID en hospitales y farmacias

En los hospitales la tecnología RFID poder ser utilizada para rastrear la posición de los médicos, enfermeras e instrumentos médicos. La seguridad del paciente es un gran reto para su salud. Reducir errores médicos, cumplir nuevas normas, la falta de personal y reducir costos son los puntos que se pueden mejorar con tecnología RFID. En el estudio de Jadak LLC (2016) se dice que los hospital están constantemente buscando maneras de mejorar la seguridad del paciente y proveer una experiencia medica de calidad y a la vez manejar los costos. Una de las aplicaciones es utilizar pulseras RFID para que los pacientes obtengan su medicina de forma controlada y sin errores como se muestra en la Figura 3.15.



Figura 3.15: Pulsera RFID para medicamento.

Fuente: (Jadak LLC, 2016)

Según el estudio de Kit Check Inc (2014) las razones porque las que farmacias empezaron a utilizar RFID son:

- La necesidad de liberar tiempo de farmaceutas y técnicos para tiempo para tareas clínicas.
- La necesidad de introducir nuevos controles para asegurar que las políticas sean cumplidas.
- La necesidad de mejorar la precisión y reducir el riesgo de la seguridad del paciente.

- Para mejorar la moral del personal mediante la racionalización de un proceso manual y tedioso.
- En respuesta a la multa por medicamentos expirados en kits por medio de la Comisión Conjunta.



Figura 3.16: Etiqueta RFID Kit Check en medicamentos.

Fuente: (Kit Check Inc., 2014)

lectores y las etiquetas. En la red superior, los servidores ordenan los conjuntos de lectores mediante conexiones cableadas o inalámbricas. Un conjunto de lectores puede tener un lector o múltiples lectores. Los servidores de base de datos o de control remoto pueden ser computadoras, ellos guardan y procesan toda la información entregada por los lectores, también son puertas de enlace para el internet externo, y se puede acceder a ellos mediante smartphones y otras computadoras a través de servicios web. En la red media, un conjunto de lectores pueden ser conectados sin necesidad de tener un lector central, el propósito es proveer una cooperación eficiente de los lectores para tratar con las colisiones. En la red inferior, se utilizan los protocolos anticolidión entre etiquetas y se recopila la información que detectan.

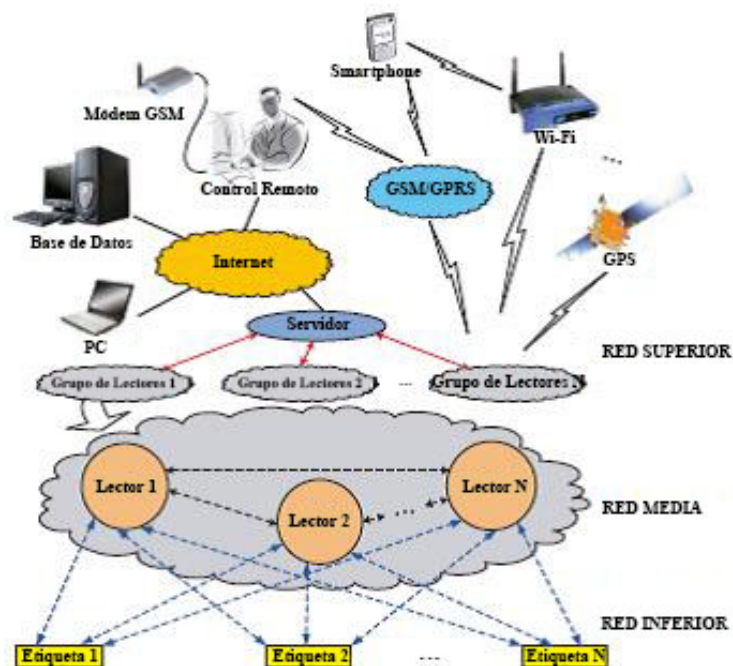


Figura 4.2: Vista jerárquica de un sistema RFID en red

Fuente: (Z. Zhang, 2013)

4.2. La arquitectura IoT

El IoT codificará de 50 a 100 trillones de objetos y seguirá el movimiento de esos objetos. Diferentes tecnologías y estándares que se encuentran

actualmente en uso participarán en la construcción de la infraestructura del IoT. Con la aparición del IoT, nuevos modelos de arquitectura son requeridos debido al gran aumento en la diversidad de dispositivos y servicios conectados.

4.2.1. Capa de detección

En esta capa se considera la adquisición y colaboración de datos. En el mundo físico el evento o estado de “las cosas”, como la temperatura, humedad, concentración de gas son adquiridas y monitoreadas por dispositivos de detección como sensores, etiquetas RFID, cámaras, etc. Se utilizan tecnologías como RFID, NFC, UWB.

4.2.2. Capa de red

Par transmitir los datos a través de esta capa, se necesitan resolver tres problemas. Direccionamiento, se debe utilizar direcciones IPv6 por la gran cantidad de dispositivos conectados a la red que IPv4 ya no alcanzaría para este propósito. Integración de las redes, se deben integrar varias redes de diferentes tecnologías como redes de Internet, redes WLAN, redes móviles, redes satelitales, etc. Gestión de recursos, nuevas estructuras topológicas o manera interactivas son requeridas para mejorar la robustez de la red de recursos utilizados en situaciones dinámicas.

4.2.3. Capa de aplicación

Esta capa consiste en la entrega de la información según los requerimientos del usuario. Tecnologías de computación distribuida como P”P y computación en la nube son utilizadas para procesar y analizar de forma inteligente una amplia gama de datos. Encontrar equipos generales, la calidad

del servicio (QoS), resolución de nombres de objetos y el control de seguridad están soportados a través del middleware.

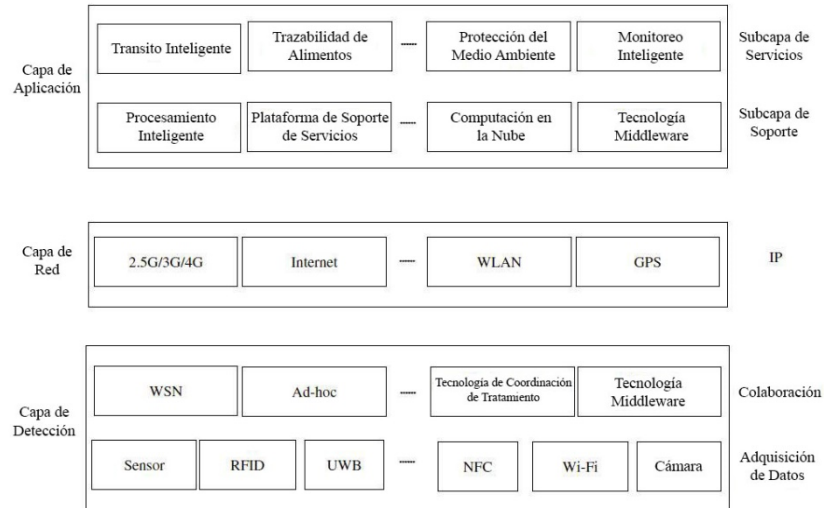


Figura 4.3: Arquitectura del IoT.

Fuente: (Z. Zhang, 2013)

4.3. Aplicaciones RFID en el IoT

Varias tecnologías han emergido en las últimas décadas que pueden ser utilizadas para nuevas implementaciones. A continuación se muestra en que campos se puede aplicar la tecnología RFID en el IoT.

Tabla 4.1: El alcance del IoT.

Campo del Servicio	Grupo de Aplicación	Ubicación	Dispositivos ("Cosas")
Bienes raíces (Industrial)	Comercial/ Institucional	Oficinas, escuelas, distribuidores, hospitales, aeropuertos estadios.	UPS, generadores, HVAC, EHS, iluminación, monitores de seguridad, controles de accesos
	Industrial	Fábricas, sitios de procesamiento, sala de inventario, cuarto de limpieza, campus.	

Energía	Proveedores/ consumidores	Generación de energía, transmisión de energía, distribución de energía, gestión de energía, AMI.	Turbinas, molinos de viento, UPS, generadores, celdas de combustible
	Sistemas de energía alternativa	Sistemas solares, eólicos, sistemas de cogeneración.	
	Operaciones de gas y aceite	Aparejos, pozos, bombas, oleoductos, refinerías.	
Consumidor y Hogar	Infraestructura	Cableado de vivienda, ruteadores, accesos a la red del hogar, manejo de energía del hogar.	Sistemas de energía, HVAC/termostatos, aspersores, MID, lavaplatos, refrigeradores, hornos, eReaders, lavadora, secadora, computadores, cámaras digitales, luces, consolas, televisores PDR.
	Seguridad	Sistemas contra incendio, sistemas de seguridad ambiental en el hogar, sistemas de detección de intrusos, sistemas de protección de energía, video remoto dentro del hogar, supervisión de los niños, niñas y ancianos en el hogar.	
	Ambiental	HVAC, iluminación del hogar, aspersores, piscinas, jacuzzis.	
	Entretenimiento	TV, PDR, consolas.	
Salud	Cuidado	Hospitales, salas de emergencia, POC móviles, clínicas, laboratorios, consultorios.	MRI, PDA, implantes, equipo de cirugía, dispositivos BAN, sistemas de energía.
	En el hogar	Implantes, sistemas de monitoreo en el hogar, redes de área corporal (BNA)	
	Investigaciones	Laboratorio de diagnósticos, sitios de investigación farmacéutica.	
Industria	Recursos de automatización	Sitios de minería, sitios de riego, sitios agrícolas, humedales, bosques.	Bombas, válvulas, ventiladores, cintas transportadoras, tuberías, tanques, motores, convertidores, sistemas de embalaje, sistemas de energía.
	Manejo de Fluidos	Instalaciones petroquímicas, fábricas de productos químicos, sitios de preparación de comida, embotelladoras, bodegas de vino, cervecerías.	
	Operaciones de conversión	Sitios de procesamiento de metales, papeles, plástico, caucho, electrónicas.	
	Distribución	Tuberías, cintas transportadoras.	

Transporte	No-vehicular	Aviones, trenes, autobuses, buques, barcos, embarcaciones.	Vehículos, barcos, aviones, semáforos, señalización dinámica, barreras de peaje, etiquetas.
	Vehículos	Vehículos comerciales y de consumidores, autos, motos, vehículos de construcción, grúas.	
	Subsistemas de transporte	Cabinas de peaje, semáforos, señales de navegación, puentes, túneles.	
Distribución	Tiendas	Supermercados, centros comerciales, tiendas pequeñas, centros de distribución.	Terminales POS, cajas registradoras, máquinas expendedoras, cajeros automáticos, parquímetros.
	Hospitalidad	Hoteles, restaurantes, banquetes, cafés.	
	Especialidades	Bancos, gasolineras, cines, bolos.	
Seguridad	Vigilancia	Radars, seguridad militar, sistemas de control de velocidad, sistemas de monitoreo.	Vehículos, embarcaciones, metro, trenes, helicópteros, aviones, cámaras de vigilancia, ambulancias, carros de policía, camiones de bomberos, monitores químicos y radiológicos, sistemas de triangulación, vehículos aéreos no tripulados.
	Equipamiento	Vehículos, embarcaciones, metro, trenes, helicópteros, aviones.	
	Rastreo	Camiones comerciales, camiones postales, ambulancias, carros de policía.	
	Infraestructura pública	Sitios de tratamiento de agua, alcantarillado, puentes, túneles.	
	Servicios de emergencia	Primeros en responder.	
Sistemas IT y redes	Redes públicas	Instalaciones de redes, oficinas centrales, centro de datos, cable submarino, cable cabecera de TV, torres celulares, telepuertos, centros ISP, NOCs.	Elementos de red, conmutadores, ruteadores, torres de antena, postes, servidores, sistemas de energía, generadores de respaldo.
	Redes empresariales	Centro de datos, equipos de red.	

Fuente: (Minoli, 2013)

4.4. El futuro en IoT

El desarrollo estratégico de nuevas tecnologías como la nano-electrónica, sistemas de telecomunicaciones, sensores, sistemas integrados, computación en la nube, redes, software, etc., serán esencial para proporcionar mayor capacidad todo el tiempo y en todas partes. Esto dará lugar a importantes innovaciones de productos IoT que afectaran diversos sectores industriales. La brecha entre el ciberespacio y el mundo físico de las cosas reales se han conectado mediante estos sistemas. RFID y otras tecnologías de identificación serán la piedra angular en el IoT, se logrará hacer a cada objeto identificable y direccionable. Componentes inteligentes podrán ejecutar un conjunto de acciones diferentes de acuerdo a su entorno y las tareas para las que han sido diseñadas. No habrá ningún límite para las acciones y operaciones de las “Cosas” inteligentes, podrán dirigir su transporte, adaptarse a los respectivos entornos, auto-configurarse, auto-mantenerse, auto-repararse y eventualmente participar en su propia eliminación.

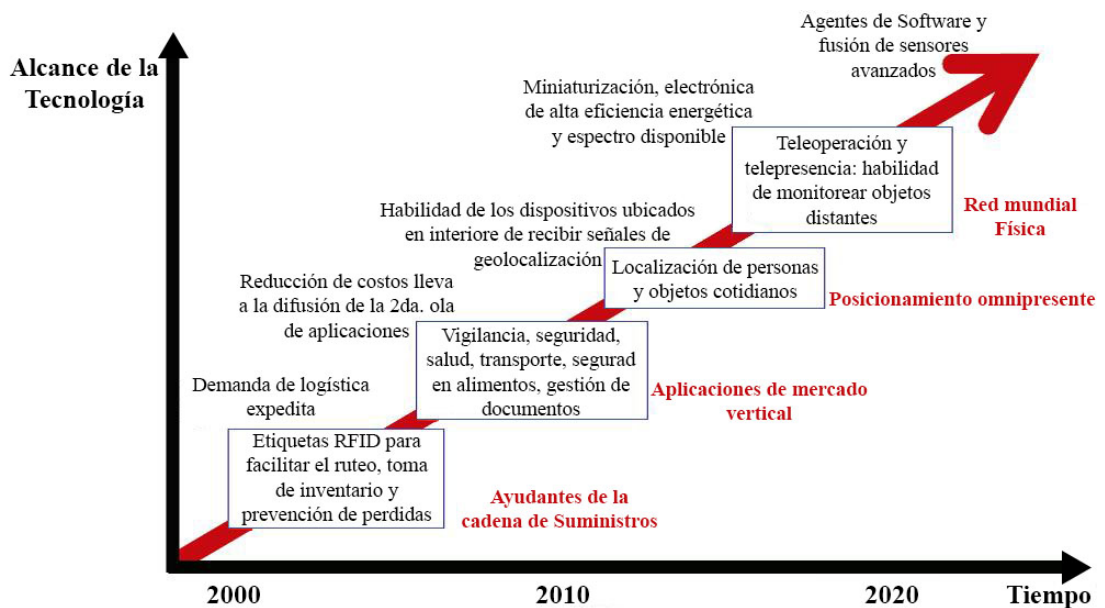


Figura 4.4: Ruta del alcance de las tecnologías.

Elaborado por: El Autor

CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Con la tecnología de identificación por radiofrecuencia logramos mayores beneficios en el campo de identificación, seguimiento y rastreo. Con su amplio rango de lectura, y facilidad para la identificación, se pueden lograr lecturas volumétricas de etiquetas que contienen información de todo tipo según la tarea para las que son diseñadas. En comparación con otras tecnologías de identificación, RFID es más diversa con la capacidad de escoger la mejor forma de utilizar etiquetas según la necesidad del usuario, se caracteriza por su bajo costo, capacidad de lectura y escritura en las etiquetas y funciona en diferentes bandas de frecuencias. Se logra una automatización de los procesos en la cual no se necesita la intervención de hombre entre el lector y las etiquetas para obtener una identificación.

RFID tiene una gran variedad de campos de aplicación así como ya mencionamos algunas de ellas, RFID tiene un mejor aprovechamiento dentro de los procesos industriales. RFID incrementa la eficiencia y reduce costos a las compañías que la integran en sus procesos como en la cadena de suministro, logística, transporte y muchas otras aplicaciones que se pueden integrar con esta tecnología.

Con el Internet de las Cosas se provee una red RFID integrada e interconectada para el intercambio de diversos tipos de información como es estado, localización e identificación. Nos permite saber en tiempo real qué, dónde y cuándo suceden las cosas. El desarrollo de esta tecnología tendrá un tremendo impacto en nuestras vidas diarias ya que se integrará el concepto de las “Cosas” inteligentes y así interactuaremos con ellas constantemente, lo que llevará al desarrollo de nuevos campos de aplicación y se abrirán nuevos mercados. Aunque se necesita mejorar problemas en los servicios como la

privacidad y seguridad de la información, protocolos de red y estandarización. El internet de las Cosas se convertirá en parte de nuestras vidas en un futuro no tan lejano y estaremos interconectados con las cosas donde sea y cuando sea que lo queramos.

5.2. Recomendaciones

La tecnología RFID debe ser implementada en la mayor cantidad de sectores industriales del país para así poder alcanzar una automatización de los procesos, lo que llevará a una reducción en los costos, un aumento en la producción y otros factores que mejorarán la eficiencia en las empresas.

Se debe trabajar en mejorar los protocolos de seguridad de la tecnología RFID para que de esta manera toda la información utilizada en estos procesos no sea robada, alterada o borrada.

Se deben analizar los estándares de compatibilidad para lograr una mayor interoperabilidad entre los distintos tipos de etiquetas RFID que existen en la actualidad.

Se deben utilizar sistemas RFID integrados a redes inalámbricas para la seguridad del medio ambiente, en caso de desastres naturales, en el mantenimiento de carreteras y señalización del tránsito.

Se podría implementar el sistema del bastón guía RFID como ayuda de parte del gobierno a las personas no videntes.

Se debería implementar un sistema RFID para el etiquetado de productos del consumidor en los supermercados del país.

Con el desarrollo de las telecomunicaciones, se deben implementar rápidamente estas tecnologías para que el país no se quede atrás en el uso del internet de las cosas y tener un mejor aprovechamiento de las aplicaciones que mejorarían nuestra vida cotidiana.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abinayaa, V., & Jayan, A. (2014). Case Study on Comparison of Wireless Technologies in Industrial Applications. *International Journal of Scientific and Research Publications (IJSRP)*, 4(2). Recuperado a partir de <http://www.ijsrp.org/research-paper-0214.php?rp=P262349>
- Ali, A. H., Abdellatif Abouhogail, R., Tarrad, I. F., & Youssef, M. I. (2013). Assessment and Comparison of Commonly used Wireless Technologies from Mobile payment Systems Perspective. *International Journal of Software Engineering and Its Applications*, 8(2), 255-266. <http://doi.org/10.14257/ijseia.2014.8.2.25>
- Bluetooth SIG, Inc. (2015). Compare with Other Technologies | Bluetooth Development Portal. Recuperado 1 de agosto de 2016, a partir de <https://developer.bluetooth.org/TechnologyOverview/Pages/Compare.aspx>
- Bodhani, A. (2013). Contactless payments: the future for consumers? *Engineering and Technology Magazine*, 8(7). Recuperado a partir de <http://eandt.theiet.org/magazine/2013/07/new-ways-to-pay.cfm>
- Bolic, M., Simplot-Ryl, D., & Stojmenović, I. (Eds.). (2010). *RFID Systems: Research trends and challenges*. Hoboken, NJ: Wiley.
- BookTec Information Co. (2004). LibBest: Library RFID System. Recuperado 16 de agosto de 2016, a partir de <http://www.rfid-library.com/>
- Casero, M. E. (2013). *Tecnología de Identificación por Radiofrecuencia: Lectura de pedidos RFID en un almacén* (Thesis). Universidad de La

Rioja, España. Recuperado a partir de http://biblioteca.unirioja.es/tfe_e/TFE000285.pdf

Choi, J., Lee, D., & Lee, H. (2006). Bi-slotted tree based anti-collision protocols for fast tag identification in RFID systems. *IEEE Communications Letters*, 10(12), 861-863. <http://doi.org/10.1109/LCOMM.2006.061348>

Cisco Systems, Inc. (2008). Wi-Fi Location-Based Services 4.1 Design Guide. Recuperado 8 de julio de 2016, a partir de <http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/solutions/Enterprise/Mobility/WiFiLBS-DG.html>

Dipole. (2013). Lectores RFID. Recuperado 12 de julio de 2016, a partir de <http://www.dipolerfid.es/Productos/Lectores-RFID/Default.aspx>

Ebere, O. (2015). An Analytical Comparison of Short-Range Wireless Technologies: NFC & RFID. <http://doi.org/10.13140/RG.2.1.2953.7443>

El Safi Ahmed Adam, R. (2011). *RFID Access control system* (Thesis). University of Khartoum. Recuperado a partir de <http://khartoumspace.uofk.edu/handle/123456789/18548>

EPCglobal. (2011). EPCglobal Tag Data Translation Standard (TDT) v. 1.6. Recuperado a partir de <http://www.gs1.org/epc/tag-data-translation-standard>

Evdokimov, S., Fabian, B., Günther, O., Ivantysynova, L., & Ziekow, H. (2010). RFID and the Internet of Things: Technology, Applications, and Security Challenges. *Foundations and Trends® in Technology, Information and Operations Management*, 4(2), 105-185. <http://doi.org/10.1561/02000000020>

- Ezovski, G. M., & Watkins, S. E. (2007). The Electronic Passport and the Future of Government-Issued RFID-Based Identification. En *2007 IEEE International Conference on RFID* (pp. 15-22). <http://doi.org/10.1109/RFID.2007.346144>
- Finkenzeller, K. (2003). *RFID handbook: fundamentals and applications in contactless smart cards and identification* (2nd Ed). Chichester, England ; Hoboken, N.J: Wiley.
- Gemtek Technology Co., Ltd. (2006). WUBW-106X UWB/Wireless USB Dongle. Recuperado 1 de agosto de 2016, a partir de http://www.gemtek.com.tw/pro_wubw106.html
- Greengard, S. (2016). Volvo's Global RFID Initiative. *RFID Journal*. Recuperado a partir de <https://www.rfidjournal.com/purchase-access?type=Article&id=14764&r=%2Farticles%2Fview%3F14764>
- Hannan, M. A., Islam, M., Samad, S. A., & Hussain, A. (2012). Modulation techniques for RFID transceiver using software defined radio. *International Journal of Innovative Computing, Information and Control*, 8(10(A)), 6667-6692.
- Hersent, O., Boswarthick, D., & Elloumi, O. (2012). *The Internet of Things: Key applications and protocols* (2 Ed). Chichester, West Sussex: Wiley.
- Hunt, V. D., Puglia, A., & Puglia, M. (2007). *RFID: a guide to radio frequency identification*. Hoboken, N.J: Wiley-Interscience.
- Ilyas, M., & Ahson, S. (2008). *RFID handbook: applications, technology, security, and privacy*. Boca Raton: CRC Press.

- International Organization for Standardization, International Electrotechnical Commission, & Institute of Electrical and Electronics Engineers. (2012). *Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications*. Geneva; New York: ISO : IEC ; Institute of Electrical and Electronics Engineers. Recuperado a partir de <http://ieeexplore.ieee.org/servlet/opac?punumber=6361246>
- Jadak LLC. (2016). Embedded RFID for Medical Devices. *RFID Journal*. Recuperado a partir de <https://www.rfidjournal.com/whitepapers/download?525>
- Kit Check Inc. (2014). RFID for Pharmacy Tag Report. *RFID Journal*. Recuperado a partir de <https://www.rfidjournal.com/whitepapers/download?483>
- Kwok, S. K., Tsang, H. C., & Cheung, C. F. (2007). *Realizing the potential of RFID in counterfeit prevention, physical asset management, and business applications: case studies of early adopters*. (Vol. 1). Hong Kong: Department of Industrial and Systems Engineering, Hong Kong Polytechnic University. Recuperado a partir de http://www.rfid.ise.polyu.edu.hk/en/about_us_pub.html#books
- Lacmanović, I., Radulović, B., & Lacmanović, D. (2010). Contactless payment systems based on RFID technology. En *2010 Proceedings of the 33rd International Convention MIPRO* (pp. 1114-1119).
- Landt, J. (2005). The history of RFID. *IEEE Potentials*, 24(4), 8-11. <http://doi.org/10.1109/MP.2005.1549751>

- Lee, D.-W. (2016). A Study on Actual Cases & Meanings for Internet of Things. *International Journal of Software Engineering and Its Applications*, 10(1), 287-294.
- Lehpamer, H. (2012). *RFID design principles* (2nd Ed). Boston: Artech House.
- Li, Q., & Liu, H. L. (2013). RFID Network and its Application in Management of Aviation Maintenance. *Applied Mechanics and Materials*, 475-476, 920-924. <http://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.475-476.920>
- Liao, C., Choe, P., Wu, T., Tong, Y., Dai, C., & Liu, Y. (2013). RFID-Based Road Guiding Cane System for the Visually Impaired. En P. L. P. Rau (Ed.), *Cross-Cultural Design. Methods, Practice, and Case Studies* (pp. 86-93). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. Recuperado a partir de http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-39143-9_10
- Lozano-Nieto, A. (2011). *RFID design fundamentals and applications*. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Lucas, J. (2015). What Is Electromagnetic Radiation? Recuperado 19 de julio de 2016, a partir de <http://www.livescience.com/38169-electromagnetism.html>
- Marani, R., & Perri, A. G. (2015). RFID Technology for Biomedical Applications: State of Art and Future Developments. *i-Manager's Journal on Electronics Engineering*, 6(2), 1-12.
- Minoli, D. (2013). *Building the internet of things with IPv6 and MIPv6: the evolving world of M2m communications*. Hoboken, New Jersey: Wiley.
- Myung, J., Lee, W., Srivastava, J., & Shih, T. K. (2007). Tag-Splitting: Adaptive Collision Arbitration Protocols for RFID Tag Identification. *IEEE*

Transactions on Parallel and Distributed Systems, 18(6), 763-775.

<http://doi.org/10.1109/TPDS.2007.1098>

Nayak, R., Singh, A., Padhye, R., & Wang, L. (2015). RFID in textile and clothing manufacturing: Technology and challenges. *Fashion and Textiles*, 2(1). <http://doi.org/10.1186/s40691-015-0034-9>

Observatorio Regional de la Sociedad de la Información, ORSI. (2007).

Tecnología de identificación por Radiofrecuencia y sus principales aplicaciones.pdf (Consejería de Fomento). Castilla y León, España.

Recuperado a partir de

<http://www.jcyl.es/web/jcyl/binarios/211/716/RFID.pdf?blobheader=ap>

plicati

Perret, E. (2014). *Radio Frequency Identification and Sensors*. Hoboken, NJ:

ISTE Ltd/John Wiley and Sons Inc.

Portillo García, J. I., Bermejo Nieto, A. B., & Bernardos Barbolla, A. M. (2008).

Tecnología de identificación por radiofrecuencia (RFID) aplicaciones en el ámbito de la salud. Madrid: Fundación Madri+d para el Conocimiento.

Rackley, S. (2007). *Wireless networking technology: from principles to*

successful implementation. Amsterdam ; Boston: Elsevier, Newnes.

Richardson, T. (2015). ZigBee, the IoT and Global Growth. *ZigBee Resource*

Guide, 8(1), 4.

San José, J. I., Blanco, J., De Dios, J. J., Zangróniz, R., & Pastor, J. M. (2015).

La identificación por radiofrecuencia (RFID) y sus aplicaciones.

Universidad de Castilla-La Mancha, Escuela Politécnica de Cuenca.

Recuperado a partir de
<https://ruidera.uclm.es/xmlui/handle/10578/8273>

Sanghera, P. (2006). *RFID+ study guide and practice exams*. Rockland, Mass.; Oxford: Syngress ; Elsevier Science [distributor. Recuperado a partir de <http://www.books24x7.com/marc.asp?bookid=25460>

Singh, N. K., & Mahajan, P. (2014). RFID and It's Use in Libraries: A Literature Review. *International Journal of Information Dissemination and Technology*, 4(2), 117-123.

Swedberg, C. (2012). Luxury Apparel Maker to Test TexTrace's Fabric RFID Label. *RFID Journal*. Recuperado a partir de <http://www.rfidjournal.com/articles/view?9415/>

Swedberg, C. (2013). Crane Aerospace and Electronics' RFID-Based Tire Pressure Sensor Simplifies Aircraft Maintenance. *RFID Journal*. Recuperado a partir de <http://www.rfidjournal.com/articles/view?10954/>

TagMaster, Inc. (2016). Vehicle Access Control - Security. Recuperado 18 de agosto de 2016, a partir de <http://tagmaster.com/traffic-solutions/security-access/>

Thornton, F. (Ed.). (2006). *RFID security*. Rockland, Mass: Syngress.

USB Implementers Forum, Inc. (2007). Wireless USB from the USB-IF. Recuperado 1 de agosto de 2016, a partir de <http://www.usb.org/developers/wusb/>

Vaculk, J., Kolarovszki, P., & Tengler, J. (2013). Possibility of RFID in Conditions of Postal Operators. En M. I. B. Reaz (Ed.), *Radio Frequency Identification from System to Applications*. InTech.

Recuperado a partir de <http://www.intechopen.com/books/radio-frequency-identification-from-system-to-applications/possibility-of-rfid-in-conditions-of-postal-operators>

Vinmathi, M. S., Pugazhendhi, C., & Mercy, M. H. (2011). The Electronic Passport and Future Government Issued RFID-Based Identification. *International Journal of Mathematics Trends and Technology*. Recuperado a partir de <http://ijmtjournal.org/Volume-1/Issue-1/ijmtjournal-v1i1p7.pdf>

Waldrop, J., Engels, D. W., & Sarma, S. E. (2003). Colorwave: an anticollision algorithm for the reader collision problem (Vol. 2, pp. 1206-1210). IEEE. <http://doi.org/10.1109/ICC.2003.1204562>

Wasserman, E. (2009). Riding Herd: RFID Tracks Livestock. *RFID Journal*. Recuperado a partir de <https://www.rfidjournal.com/purchase-access?type=Article&id=5272&r=%2Farticles%2Fview%3F5272>

Yang, H. (2010). *Integrated ZigBee RFID sensor networks for resource tracking and monitoring in logistics management* (Thesis). Loughborough University. Recuperado a partir de <https://dspace.lboro.ac.uk/dspace-jspui/handle/2134/7295>

Zhang, Y., Yang, L. T., & Chen, J. (Eds.). (2010). *RFID and sensor networks: architectures, protocols, security, and integrations*. Boca Raton: CRC Press.

Zhang, Z. (2013). *Networked RFID systems for the internet of things*. KTH Royal Institute of Technology, Stockholm.

ZigBee Alliance. (2014). ZigBee 3.0 | The ZigBee Alliance. Recuperado 3 de agosto de 2016, a partir de <http://www.zigbee.org/zigbee-for-developers/zigbee3-0/>



Presidencia
de la República
del Ecuador



Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes



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

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Játiva Gutiérrez, Cristian Luis** con C.C: # 0921267613 autor del Trabajo de Titulación: **Estudio de la tecnología de identificación por radiofrecuencia (RFID), sus aplicaciones y la convergencia con el internet de las cosas (IoT)** previo a la Obtención del Título de **INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

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

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

Guayaquil, 13 de Septiembre del 2016

Játiva Gutiérrez, Cristian Luis

C.C: 0921267613



REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA			
FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN			
TÍTULO Y SUBTÍTULO:	Estudio de la tecnología de identificación por radiofrecuencia (RFID), sus aplicaciones y la convergencia con el internet de las cosas (IoT).		
AUTOR(ES)	Játiva Gutiérrez, Cristian Luis		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Philco Asqui, Luis Orlando		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
CARRERA:	Ingeniería en Telecomunicaciones		
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniero en Telecomunicaciones		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	13 de Septiembre del 2016	No. DE PÁGINAS:	111
ÁREAS TEMÁTICAS:	Sistemas de Identificación, Electrónica, Telecomunicaciones, Radiofrecuencia, Internet.		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	IDENTIFICACIÓN POR RADIOFRECUENCIA; RFID; INTERNET DE LAS COSAS; IOT; ETIQUETAS; LECTORES; REDES INALÁMBRICAS.		
RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):			
<p>En el presente Trabajo de Titulación se hace un estudio de la tecnología de identificación por radiofrecuencia (RFID), sus aplicaciones y la convergencia con el internet de las cosas (IoT). Se caracteriza cuáles son los principios físicos de la tecnología RFID, sus elementos principales, los protocolos de anticollisión, métodos de codificación y modulación y sus estándares. Se investigó documentos actualizados de aplicaciones con sistemas RFID que se puedan utilizar en localización, rastreo y administración objetos en tiempo real, en automotores, rastreo de animales, sistemas de pago, cadena de suministros, en hospitales, inventario en librerías, gestión y protección de infraestructuras, logística y transporte, seguridad y control, etc. Se realizó un análisis de la convergencia de los sistemas RFID con el internet de las cosas (IoT). El internet de las cosas (IoT) es la tecnología de moda actual, la innovación en el campo de las telecomunicaciones, proporcionará a los objetos la infraestructura de detección inalámbrica omnipresente y sistemas de identificación con trillones de dispositivos singularmente identificables con sensores inteligentes para conectar cualquier cosa en cualquier momento y en cualquier lugar. RFID es una tecnología atractiva para la creación de este tipo de redes.</p>			
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593-4-2395698 +593-9-92809690	E-mail: cris_ljg@hotmail.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN: COORDINADOR DEL PROCESO DE UTE	Nombre: Palacios Meléndez, Edwin Fernando		
	Teléfono: +593-9-68366762		
	E-mail: edwin.palacios@cu.ucsg.edu.ec		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			