



# ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

Titulación:

INGENIERO TECNICO DE TELECOMUNICACIONES esp.

Sonido e imagen.

Título del proyecto:

Aplicación de sistemas RFID y su implementación en el sector  
logístico

Erik Aguirre Gallego

Dr. Francisco Javier Falcone Lanas

Pamplona, 14 de Septiembre de 2010





**UNIVERSIDAD PÚBLICA DE NAVARRA**  
**E.T.S.I.I. y de Telecomunicación**  
Campus de Arrosadía s/n  
31006-Pamplona Navarra-Spain  
Tfno: 34-48-169000 Fax: 34-48-169169



## *Acta de Proyecto Final de Carrera*

*Título:*

“Aplicación de sistemas RFID y su  
implementación en el sector logístico”

*Alumno:*

*Erik Aguirre Gallego*

*Tutor del Proyecto:*

*Dr. Francisco Javier Falcone Lanas*

*Reunido el tribunal, compuesto por los siguientes miembros,*

*Presidente,*

*Secretario,*

*Vocal 1º,*

*Fdo:.....*

*Fdo:.....*

*Fdo:.....*

*acuerda otorgar la calificación de*

*Pamplona, .....de.....de 20.....*

## Resumen

Este proyecto se centra en la tecnología RFID aplicada al ámbito logístico y pretende ofrecer tanto nociones básicas de la tecnología y sus aplicaciones en este ámbito, como un completo estudio radioeléctrico tanto teórico como práctico de diferentes entornos. Para transmitir los conceptos básicos, se presenta la utilidad de este sistema en logística apoyada en casos de estudio previos y todos los conceptos teóricos necesarios, empezando por la base radioeléctrica, todos los fundamentos de la tecnología RFID y por último describiendo los modelos empíricos usados. Por último se presenta el estudio radioeléctrico, comparando resultados teóricos obtenidos empíricamente y con modelo de trazado de rayos con medidas experimentales en diversos entornos, uno de ellos logístico. Además se evalúa la posibilidad de implantación de un sistema RFID real en este último entorno. De todo este proceso se obtienen muchas conclusiones interesantes.

## Abstract

This project focuses on RFID technology applied in logistic field and aims to provide both basic knowledge of technology and its application in this field as a comprehensive study both theoretical and practical radio frequency in different environments. To convey the basic concepts, shows the usefulness of the logistics system supported by case studies and all necessary theoretical concepts, starting with the base radio, all the basics of RFID technology and finally describing the empirical models used. Finally we present the radio study, comparing empirical and theoretical results obtained by means of ray tracing model with experimental measurements in various environments, one logistical. We also evaluated the possibility of introducing a real RFID system in the latter environment. In this process many interesting conclusions are obtained.



## ÍNDICE

<b>1. Introducción .....</b>	<b>5</b>
<b>2. Objetivo .....</b>	<b>15</b>
<b>3. Estado del arte .....</b>	<b>16</b>
<b>3.1.-Radio Frecuencia .....</b>	<b>16</b>
<b>3.1.1.-Ondas electromagnéticas .....</b>	<b>16</b>
<b>3.1.1.1.-Polarización de una onda electromagnética .....</b>	<b>18</b>
<b>3.1.2.-Radiopropagación .....</b>	<b>18</b>
<b>3.1.2.1.-Reflexión y refracción: .....</b>	<b>19</b>
<b>3.1.2.2.-Difracción .....</b>	<b>21</b>
<b>3.1.2.3.-Propagación por onda directa .....</b>	<b>22</b>
<b>3.1.2.4.-Propagación por onda de superficie .....</b>	<b>22</b>
<b>3.1.2.5.-Propagación troposférica .....</b>	<b>22</b>
<b>3.1.2.6.-Propagación ionosférica.....</b>	<b>23</b>
<b>3.1.2.7.-Propagación por el espacio .....</b>	<b>23</b>
<b>3.1.3.-Radiocomunicación.....</b>	<b>24</b>
<b>3.1.3.1.-Distorsión.....</b>	<b>25</b>
<b>3.1.3.2.-Ruido e interferencias.....</b>	<b>25</b>
<b>3.1.3.3.-Modos de explotación .....</b>	<b>27</b>
<b>3.1.3.3.1.-Simplex .....</b>	<b>27</b>
<b>3.1.3.3.2.-Duplex .....</b>	<b>27</b>
<b>3.1.3.3.3.-Semiduplex .....</b>	<b>27</b>
<b>3.1.3.4.-Frecuencias radioeléctricas .....</b>	<b>27</b>
<b>3.2.-Tecnología RFID .....</b>	<b>29</b>
<b>3.2.1.-Introduccion .....</b>	<b>29</b>
<b>3.2.2.- ¿Que es la tecnología RFID? .....</b>	<b>30</b>
<b>3.2.2.1.-Sistemas Auto-ID .....</b>	<b>30</b>
<b>3.2.2.1.1.-Codigo de barras .....</b>	<b>30</b>

3.2.2.1.2.-Reconocimiento óptico de caracteres .....	31
3.2.2.1.3.-Sistemas biométricos .....	32
3.2.2.1.4.-Tarjetas inteligentes .....	33
3.2.3.-Historia del RFID .....	35
3.2.4.-Fundamentos básicos de los sistemas RFID.....	38
3.2.5.-Clasificación de transpondedores RFID .....	39
3.2.5.1.-Transpondedor de 1 bit .....	40
3.2.5.1.1.-Radio frecuencia.....	40
3.2.5.1.2.-Microondas .....	41
3.2.5.1.3.-Divisor de frecuencia .....	42
3.2.5.1.4.- Electromagnéticos .....	42
3.2.5.1.5.-Acusticomagnéticos.....	43
3.2.5.2.- Transpondedor de n-bit .....	44
3.2.5.2.1.-Sistemas Half y Full duplex .....	45
3.2.5.2.1.1 .-Acoplamiento inductivo .....	45
3.2.5.2.1.2.-Acoplamiento electromagnético de retrodispersión .....	46
3.2.5.2.1.3.-Cierre de acoplamiento .....	47
3.2.5.2.1.4.-Acoplamiento eléctrico .....	48
3.2.5.2.2.-Sistemas secuenciales .....	49
2.2.5.2.2.1.-Acoplamiento inductivo .....	49
3.2.5.2.2.2.-Onda acústica de superficie (SAW) .....	50
3.2.5.-Lectores .....	52
3.2.5.1Modulo de radiofrecuencia .....	53
3.2.5.2Unidad de control .....	53
3.2.5.3Antena emisora .....	54
3.2.6.-Programadores RFID .....	57
3.2.7.-Middleware .....	58
3.2.8.-EPC .....	60

3.2.8.1.-EPCglobal Generación 2 .....	62
3.2.9.-Bandas de frecuencia RFID .....	63
3.2.9.1.-Sistemas de baja frecuencia (LF) .....	64
3.2.9.2.-Sistemas de alta frecuencia (HF) .....	64
3.2.9.3.-Sistemas de ultra alta frecuencia (UHF) .....	65
3.2.9.4.-Sistemas de microondas .....	65
3.2.9.5.-Usos del RFID.....	66
3.3.-Métodos empíricos de predicción de propagación .....	67
3.3.1.-Espacio libre .....	67
3.3.2.-Cost 231.....	69
3.3.3.-ITU-RP 1238 .....	69
3.3.4.-Linear Path attenuation model.....	70
3.3.5.-Keenan-Motley .....	70
3.3.6.-Multi-Wall .....	71
3.3.7.-Two Slope .....	71
4. Metodología empleada.....	73
4.1.-Proceso de medida.....	73
4.2.-Escenarios medidos.....	74
4.2.1.-Pasillo.....	74
4.2.2.-El Sario .....	75
4.2.3.-Empresa Disayt .....	76
4.3.-Instrumentación.....	78
4.3.1.-Analizador de espectros: .....	78
4.3.2.-Generador de señal.....	79
4.3.3.-Antena de panel .....	79
4.3.4.-Antena pequeña para interiores.....	80
4.3.5.-Montaje.....	81
5. Resultados .....	82

<b>5.1.-Cálculos empíricos .....</b>	<b>82</b>
<b>5.1.1.-Pasillo: .....</b>	<b>82</b>
<b>5.1.2.-El Sario .....</b>	<b>87</b>
<b>5.1.3.-Empresa Disayt.....</b>	<b>92</b>
<b>5.2.-Potencia recibida por el lector.....</b>	<b>94</b>
<b>5.2.1.-Empresa Disayt.....</b>	<b>94</b>
<b>6.-Conclusiones: .....</b>	<b>104</b>
<b>7.-Líneas futuras.....</b>	<b>106</b>
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>107</b>
<b>Anexo I.....</b>	<b>109</b>
<b>Anexo II.....</b>	<b>114</b>
<b>Anexo III.....</b>	<b>117</b>
<b>Anexo IV.....</b>	<b>123</b>
<b>Anexo V.....</b>	<b>125</b>
<b>Índice de figuras.....</b>	<b>128</b>
<b>Índice de tablas .....</b>	<b>131</b>
<b>Lista de acrónimos.....</b>	<b>132</b>

## 1. Introducción

La tecnología RFID muestra un sin fin de posibilidades a la hora de identificar y gestionar tanto productos como personas o animales. Por lo tanto es lógico pensar que la implantación de esta tecnología en el sector logístico es algo beneficioso e interesante, ya que poder controlar en todo momento lo que sucede con los diferentes productos es algo ideal para quien hace negocio con estos.

Por eso se entiende que el RFID haya tenido un gran éxito en este sector y que cada vez tanto su implantación como el crecimiento de esta sea mayor. La automatización de los procesos de almacenamiento y distribución ofrece grandes ventajas, ya que proporciona una gran reducción de tiempo y errores, además de un gran ahorro de recursos.

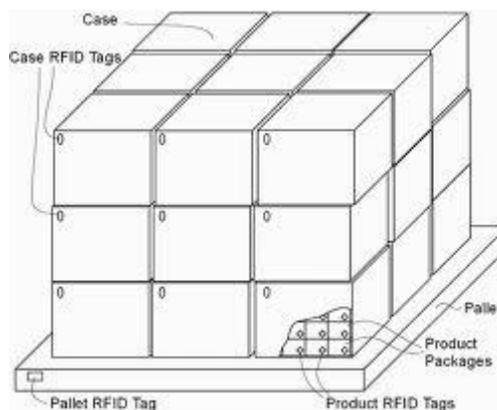


Figura 1.1. Ejemplo de palet con sistema RFID tanto a nivel de palet como en los productos

En este sector la tecnología RFID ofrece un nivel de implantación múltiple, pudiendo etiquetarse según la aplicación a nivel de palet de caja o elemento. Además, si el nivel de integración con los servicios informáticos de la empresa es bueno, se pueden dinamizar de sobremanera los procesos existentes como la facturación de expediciones.

El RFID permite gestionar los procesos logísticos a múltiples niveles, empezando desde el almacén. Gracias a la tecnología RFID se puede llevar a cabo una identificación unívoca de las posiciones de almacenamiento y gestionar inteligentemente los huecos. Además se puede llevar un control de los productos, pudiendo incluso gestionar el stock por caducidad en bienes perecederos.

También se consigue una reducción de costes operativos porque se agiliza tanto la recogida como actualización de datos y existen equipos portátiles para que los operadores puedan disponer y usar estos datos de forma eficaz.

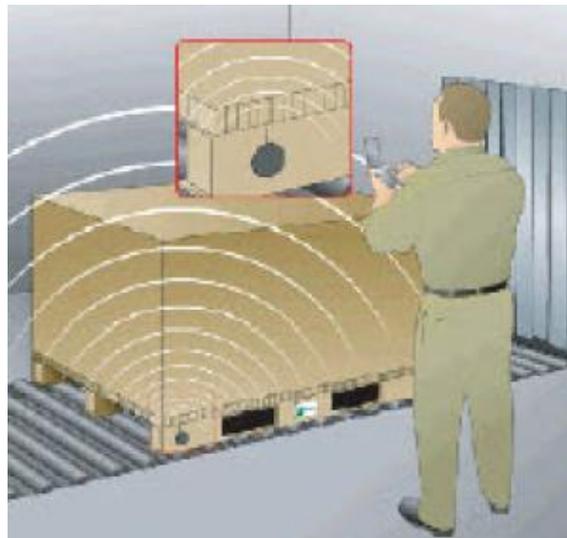


Figura 1.2. Operario leyendo una etiqueta adherida a un palet

Además el almacén se puede volver más eficiente ya que se puede gestionar mejor el inventario y tener un sistema más eficaz de recepción de mercancías.

Pero las ventajas de este sistema no solo existen a nivel de almacén los productos también se puede controlar desde el momento en el que sale la mercancía del almacén hasta que llega a su destino, mediante procesos de comprobación y validación sobre la mercancía que se expide. Si el intercambio de información entre empresas es bueno, la empresa expendedora puede tener total visibilidad de la cadena de suministro, conociendo las condiciones y situación del producto expendido.



Figura 1.3. Sistema RFID que identifica los palets que cruzan la puerta

Por último muestra un gran aporte en seguridad, ya que los productos están siempre controlados, pudiéndose implantar un sistema que avise de hurtos o de simples confusiones que pueden llevar a la desaparición del producto o a que este acabe en un destino diferente.

Como este sector de aplicación es fundamentalmente económico atrae la atención de mucha gente y empresas y se generan muchos negocios alrededor suyo, por eso hay muchos estudios e información referente a esta aplicación comparada con otras aplicaciones que pueden resultar interesantes como su implantación en el sector sanitario.

A continuación como ejemplo de este interés se habla de unos cuantos casos de estudio que también han tratado el tema del RFID aplicado a la logística. En el primer ejemplo se presentan diferentes alternativas para la correcta gestión de los camiones que cargan y descargan productos en una planta dependiendo de los productos que estos contengan.[3]

Este estudio está motivado por una empresa fabricante de bolsas de papel que dispone de dos áreas de fabricación en un solo sitio, cada una con un almacén independiente, servicio de carga y una cantidad de productos terminados igual. Puesto que todos los clientes están en el extranjero, los productos tienen que ser trasladados a varios puertos por camiones.

El problema que muestra esto es que los camiones tienen que esperar durante mucho tiempo en el muelle de carga porque los productos o gran parte de ellos aun no han sido completamente terminados. Pero esto puede ocasionar problemas porque pueden bloquear el paso de otros camiones cuya carga ya está preparada. Esto afecta gravemente el funcionamiento de la planta y hace que los pedidos no lleguen a tiempo a sus destinos.

Para solucionar esto se presentan diferentes estrategias basadas en el sistema RFID. Se comprueba la estrategia de los diferentes sistemas y del sistema original para tres variables diferentes:

- 1) **Tiempo total promedio en el sistema:** La suma de los diferentes tiempos de espera donde entran el tiempo de los viajes locales, el tiempo de carga y el tiempo de procesamiento de documentos

- 2) **Porcentaje de camiones retrasados:** Son los camiones que no llegan a la fecha de entrega y no pueden salir de la planta de producción en el tiempo predefinido.
- 3) **Rendimiento de los camiones:** Número total de camiones que pueden cargar el importe de las cargas y dejar la planta durante el periodo de un día.

Las estrategias que se comprueban son las siguientes cuatro:

- 1) **FIFO (First in, first out):** Esta regla es la que emplea actualmente la planta. El primer camión que entra es el que primero que carga.
- 2) **EED (Earliest due date):** Esta regla elige a los camiones que tengan una fecha de vencimiento más temprana. Aunque no hace uso del sistema RFID en el estudio se usa como referencia.
- 3) **SRT (Shorter Remaining Production Time):** Esta regla selecciona camiones a cuyos productos les queda menos tiempo de producción mediante la información que proporciona el sistema RFID.
- 4) **Slack/RPT (Slack Remaining Production Time):** En este caso se tiene en cuenta tanto el tiempo que queda de producción como el camión que menos carga tiene que cargar.

En las siguientes tres tablas se muestra los resultados obtenidos con cada procedimiento para cada variable

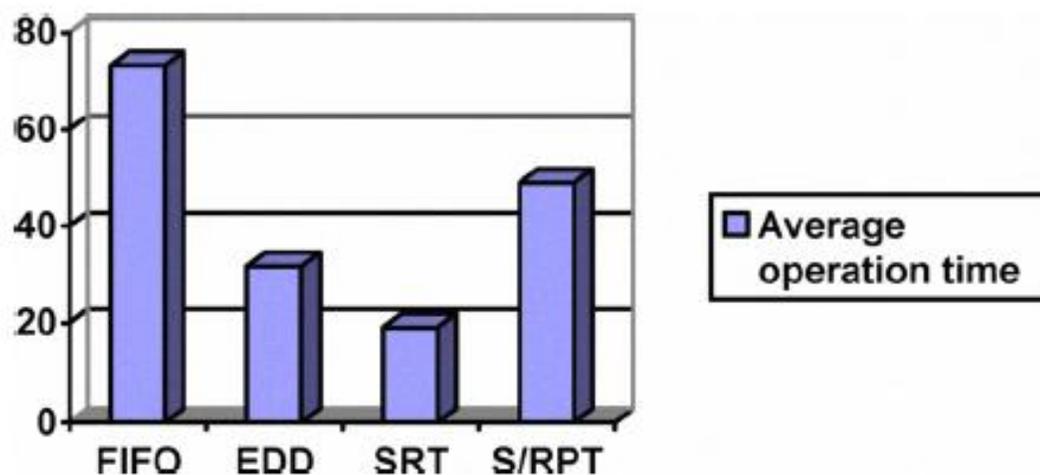


Figura 1.4. Tiempo promedio de operación para las diferentes estrategias probadas en el primer caso de estudio

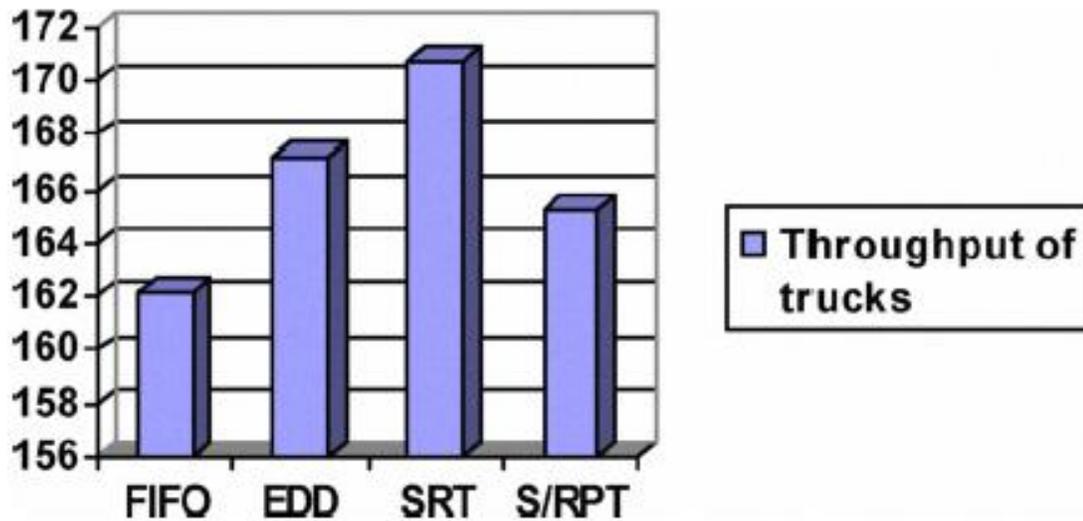


Figura 1.5. Número de camiones que cargan su mercancía con las diferentes estrategias en el primer caso de estudio

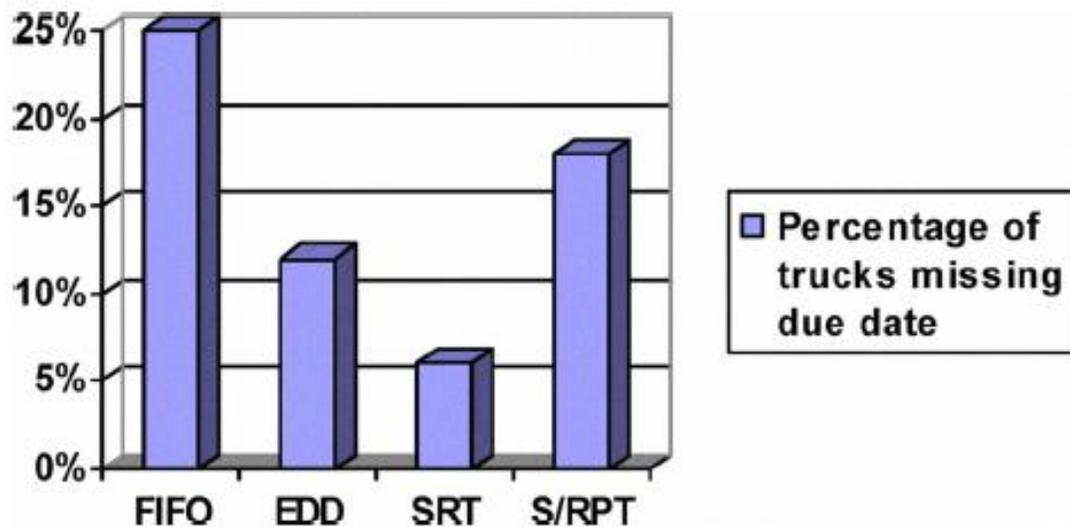


Figura 1.6. Porcentaje de camiones que llegan tar con las diferentes estrategias en el primer caso de estudio

Este sistema no hace más que demostrar la eficacia del RFID, ya que uno de los sistemas basados en RFID es el que mejor funciona, porque es el que menos ha tardado de media, el que más camiones ha llenado y el que menos camiones retrasados ha tenido.

Aunque este estudio también demuestra que hay que saber utilizar la información que ofrece el RFID porque el segundo sistema basado en RFID ha sido peor que uno de los sistemas que no lo usan.

En el segundo caso de estudio se pretende instalar un sistema RFID en una empresa de fabricación de bicicleta y para ello propone un sistema multiagente que permite responder a los eventos RFID en tiempo real. Lo que distingue a este estudio es que combina la tecnología RFID con un SEP (smart end-point) o punto final inteligente.

El SEP es un sistema integrado que es capaz de tomar sus propias decisiones y coordinarse con otros SEP.[4]

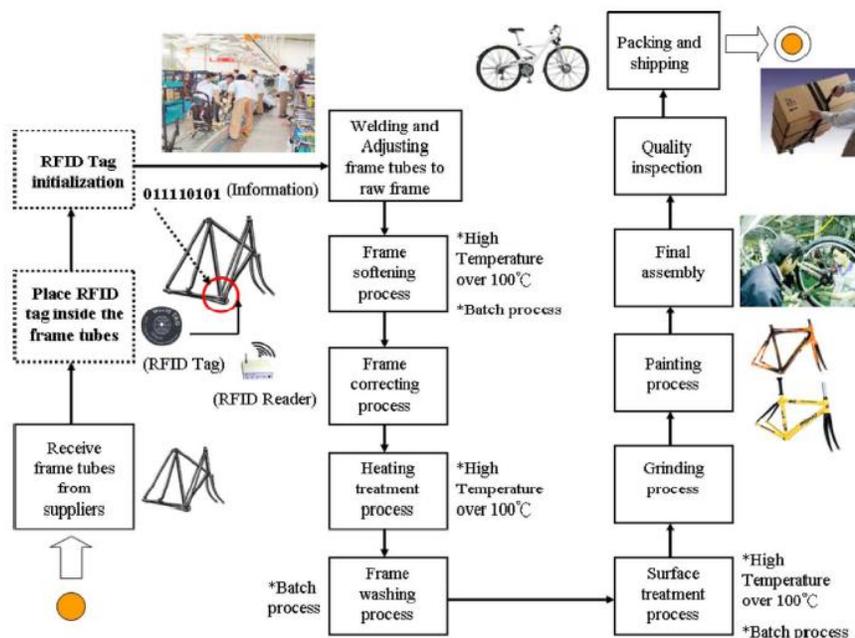


Figura 1.7. Cadena de montaje de la fábrica de bicicletas del segundo caso de estudio.

El problema de esta empresa es que utiliza un sistema basado en códigos de barras para rastrear e identificar miles de cuadros de bici en movimiento entorno a la planta de producción. Sin embargo, mantener un registro de todas las partes en tiempo real es todavía una tarea de enormes proporciones que obliga a la empresa a contratar muchos empleados que hagan frecuentes análisis de códigos de barras

Para evaluar la solución propuesta el estudio el estudio usa cinco criterios:

- 1) Precisión de seguimiento
- 2) Cumplimiento de la fecha de entrega
- 3) Ahorro de costes laborales
- 4) Rendimiento de fabricación
- 5) Control de inventario

Una vez evaluada la solución el estudio muestra las siguientes mejoras respecto al sistema actual:

Evaluación de los beneficios	Estado actual	Mejoras estimadas en el plazo de 2 años
Precisión de seguimiento de piezas	<70%	>95%
Tasa de pérdida de piezas	6%-7%	<1%
Cumplimiento de la fecha de entrega	5%	<1,5%
Ahorro de los costes laborales	---	10-30%
Ahorro de costes de mano de obra para el seguimiento de piezas	---	20-40%
Ahorro de costes de mano de obra para las auditorias de inventario	---	25-50%
Reducción de tiempo de producción para la fabricación de una bicicleta personalizada	---	40-50%
Reducción del inventario	---	10-15%

Tabla 1.1. Mejoras que presenta el sistema basado en RFID respecto al sistema anterior del segundo caso de estudio

Se puede comprobar que no solo optimiza el proceso de producción sino que el sistema RFID también ahorra costes. Es cierto que no solo depende de la tecnología RFID, es una combinación de RFID y SEP, pero la tecnología RFID es imprescindible para proporcionar información al sistema que gestiona la producción.

En el siguiente caso de estudio, el reto es crear un sistema robusto para el seguimiento de contenedores utilizados para el envío de componentes a proveedores, pudiendo identificar la ubicación física de estos.[5]

En este caso se trata de una empresa de automóviles que pretende controlar el proceso de envío de componentes a los proveedores y para eso se investigan todos los procesos logísticos de toda la operación dentro de la planta de fabricación para determinar la factibilidad de uso de la tecnología RFID.

El esquema propuesto consiste en poner un lector RFID en cada puerta de almacén de toda la cadena de suministros, de tal manera que cada vez que un camión lleve un contenedor con piezas esto quede registrado. Se registran datos como la identificación, tiempo de envío y la fecha, proveedor de información y los detalles de proveedor específico.

Luego esta información se enviara por internet al servidor de la empresa, de tal manera que estos se guardan en las base de datos de la empresa. De esta manera se consigue la historia de cada uno de los contenedores de piezas a través de la cadena de

suministros y ofrece un informe de todos los movimientos cuando llega a su destino si es necesario.

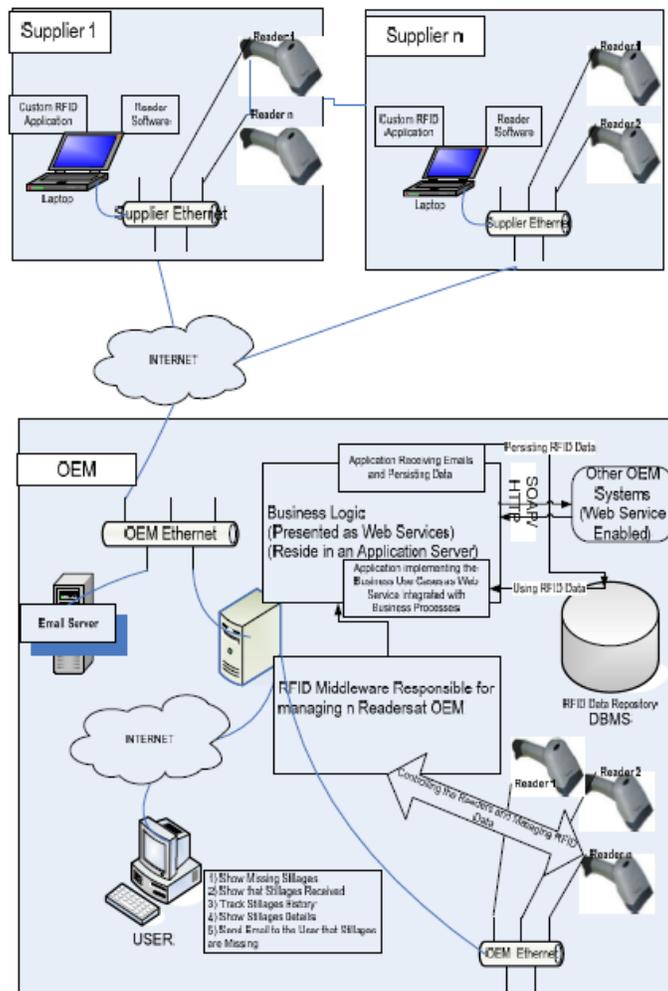


Figura 1.8. Infraestructura del sistema basado en RFID para el tercer caso de estudio

Este sistema no solo ofrece un control total de todo el proceso de transporte, sino que también evita la pérdida de piezas lo que tiene un impacto importante tanto en la garantía de calidad como en los costes de gestión de logística.

En el último caso de estudio también se presenta la situación en la que el proveedor quiere controlar su producto en todo su ciclo de vida, desde que es fabricado hasta que este es entregado al usuario. [6]

En este caso se trata de la industria de papel y la manera de controlar ese ciclo se pretende que sea mediante sistemas de RFID de ultra-alta frecuencia (UHF).

La dificultad de este proyecto está sobre todo en que la etiqueta RFID se introduce dentro del rollo de papel con las complicaciones de lectura que esto puede causar en todo el proceso de la cadena de suministro. Además en algún punto el papel se introduce en un contenedor metálico y el sistema tiene que leer a través de él.

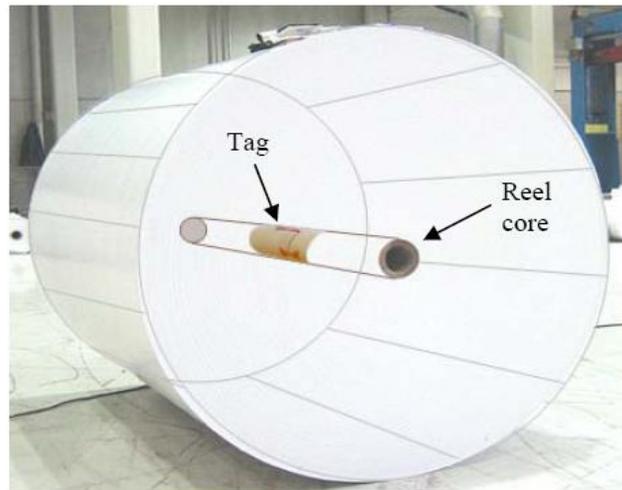


Figura 1.9. Colocación del tag en el producto del último caso de estudio

Para poder llevar este proceso de lectura a cabo, se colocan antenas y lectores en todos los procesos por los que pasa el papel hasta llegar a su destino, llegando a colocar antenas en los montacargas.

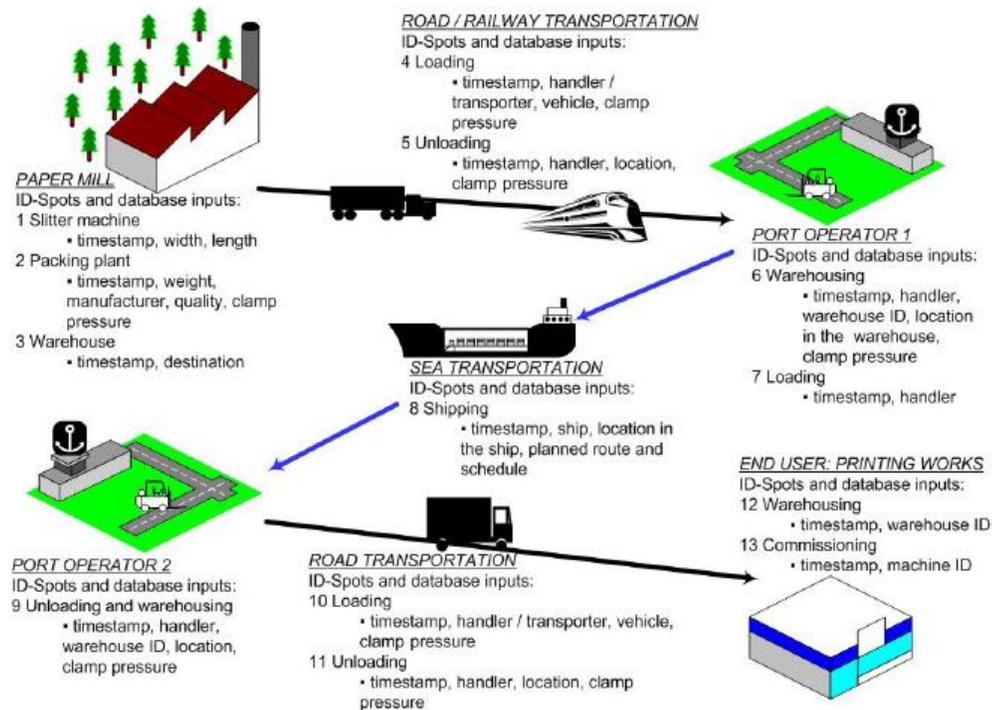


Figura 1.10. Pasos en el transporte de el producto etiquetado en el último caso de estudio

**El viaje del papel desde que sale de fábrica hasta que llega al usuario consta de muchas etapas y en todas ellas se lleva a cabo el proceso de identificación de RFID.**

**Con todos estos casos de estudio lo único que se pretende demostrar es que el RFID tiene muchas aplicaciones de muy diverso carácter en el ámbito logístico. Puede controlarse desde el momento en el que se está generando el producto hasta el momento en el que llega al usuario final, pasando por su almacenaje.**

**La posesión de toda esta información para el suministrador de los productos es esencial, ya que le permite gestionar mejor los recursos de la empresa, ofreciendo un servicio de mejor calidad tanto a los intermediarios como a los usuarios finales. Además supone un gran ahorro económico por el uso más eficiente de todos los recursos.**

## 2. Objetivo

En este proyecto se pretende analizar la tecnología RFID tanto de forma teórica como experimental para el ámbito logístico. Con este fin se caracterizan y evalúan diversos entornos radioeléctricos. Se analiza en detalle los componentes fundamentales de un sistema RFID (capa física, middleware y aplicaciones), así como el caso particular en entorno logístico. El énfasis se hace en la caracterización radio, empleando para ello herramientas de cálculo tanto analítico como de carácter determinista. Diversos resultados de simulación y de medida se presentan con el fin de poder validar la metodología propuesta.

### 3. Estado del arte

#### 3.1.-Radio Frecuencia

##### 3.1.1.-Ondas electromagnéticas

Las ondas electromagnéticas, son aquellas ondas que no necesitan ningún medio material para su propagación, a diferencia de otro tipo de ondas como las acústicas y dentro de ellas se incluyen la luz visible, ondas de radio, microondas, rayos x y entre otras.[1]

Se propagan gracias a la oscilación de un campo magnético y uno eléctrico, transportando energía por el espacio. Las ondas electromagnéticas son transversales y las direcciones de los campos eléctrico y magnético son perpendiculares a la de propagación y entre ellas como se muestra en la siguiente imagen.

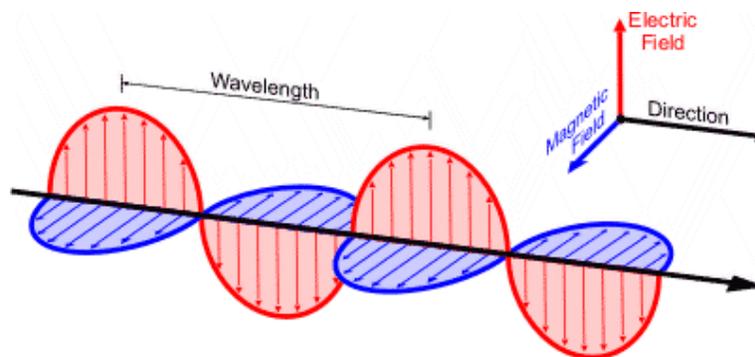


Figura 3.1.Onda electromagnética

En una onda electromagnética, se describen las siguientes características básicas que nos ayudan a definir como es y cuyo conocimiento es necesario para entenderlas y poder trabajar con ellas:

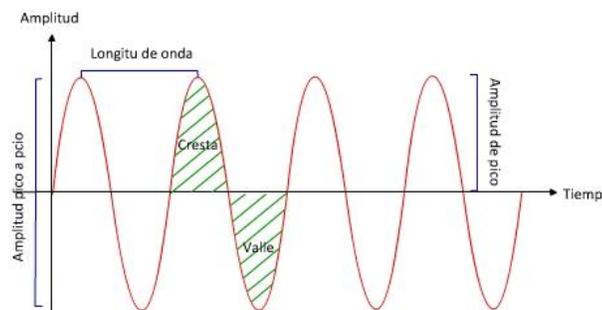


Figura 3.2.Características de una onda electromagnética

El valor de pico, es la magnitud de la máxima perturbación que genera la onda electromagnética en el medio. Dicho de otra manera es el valor máximo (valor de pico positivo) o mínimo (valor de pico negativo) que alcanza la señal. Si la señal no tiene componente continua, el valor de pico es la amplitud de esta. La separación entre el valor de pico positivo y el valor negativo toma el nombre de valor pico a pico y para señales sinusoidales es el doble de la amplitud. La amplitud de una señal se mide en Voltios (V), para el caso del valor pico a pico en voltios pico-pico (Vpp).

El periodo de una señal es el tiempo que tarda una señal en completar un ciclo y la distancia entre el punto inicial y final de un ciclo se denomina longitud de onda. La unidad del periodo es el segundo(s). El ciclo de una señal se refiere a cada patrón repetitivo de la onda electromagnética.

La frecuencia es la inversa del periodo y se refiere al número de ciclos que completa la onda en un intervalo de tiempo. En el caso de que este intervalo sea de 1 segundo, la unidad que se utiliza es el Hertzio (Hz). Su cálculo es simple:

$$f = \frac{1}{T}$$

Donde:

**f:** Frecuencia de la onda en Hertzios (Hz)

**T:** Periodo de la onda en segundos(s)

La velocidad a la que se desplaza la onda, depende de su naturaleza y del medio por el que se desplaza y se interrelaciona con la frecuencia y con la longitud de onda de la señal mediante la siguiente fórmula:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

Donde:

**λ:** Longitud de onda en metros (m)

**c:** velocidad de la onda en metros por segundo (m/s)

**f:** frecuencia de la onda en Hertzios (Hz)

Por último se define la fase de una onda que relaciona la posición de una característica de un ciclo, como puede ser un pico, con la situación de la misma

característica en otra onda. Se mide típicamente como un ángulo. En la definición de fase viene implícita la comparación de dos ondas con la misma frecuencia.

### 3.1.1.1.-Polarización de una onda electromagnética

La polarización de una onda electromagnética nos dice la dirección del campo eléctrico de esta y su variación con el tiempo. Esta puede ser vertical u horizontal, de tal manera que cuando la polarización es horizontal el campo eléctrico es horizontal y el magnético vertical y cuando es vertical, el campo eléctrico es vertical y el magnético horizontal.

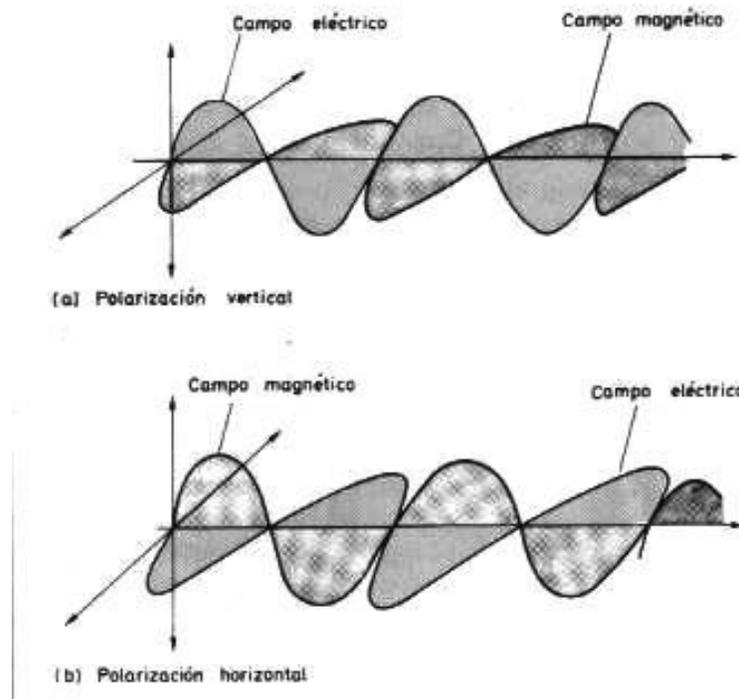


Figura 3.3.Polarización de una onda electromagnética

### 3.1.2.-Radiopropagación

La propagación de las ondas se puede estudiar gracias a las ecuaciones de Maxwell, aunque en muchas ocasiones, este estudio riguroso es impracticable o extremadamente complejo, por lo que para la predicción de las pérdidas de propagación se hace uso de modelos basados en la óptica geométrica. Cuando estos modelos no son validos, se echa mano de modelos empíricos o curvas de propagación normalizadas, conseguidas de mediciones.[1]

Las características de propagación de una onda dependen de diversos factores, situación del trayecto de propagación respecto a los objetos, características eléctricas del terreno, propiedades físicas del medio y de la frecuencia y polarización de la onda.

Para entender mejor como se propaga una onda radioeléctrica, a continuación se explican los tres fenómenos que se dan cuando una onda cambia de medio o se encuentra con un obstáculo:

### 3.1.2.1.-Reflexión y refracción:

Cuando una onda incide sobre una superficie de separación entre dos medios se pueden producir estos dos fenómenos simultáneamente o individualmente. Si la onda incidente regresa al medio inicial, se da el fenómeno de la reflexión.[1]

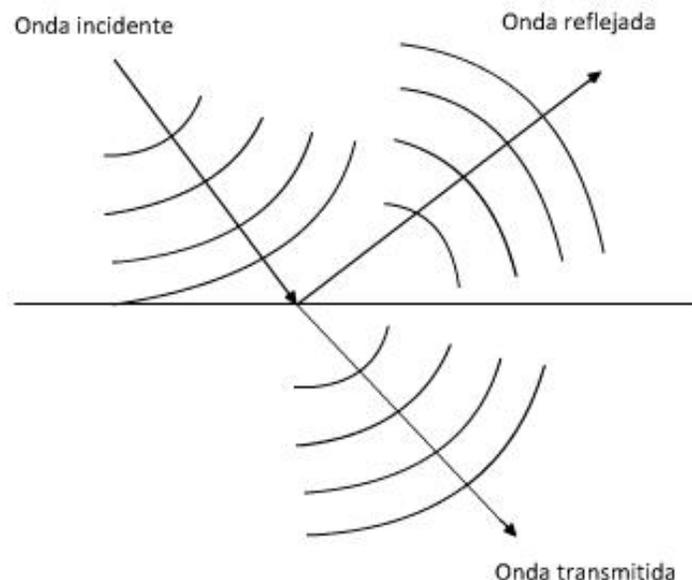


Figura 3.4.Ley de Fresnell

Dependiendo del tipo de superficie de separación la reflexión puede ser parcial o total y puede producirse un cambio de fase dependiendo de la rigidez de esta. La reflexión total se dará en el caso en el que la onda incida en un conductor perfecto, en el que no habrá ni difracciones ni pérdidas por absorción. Por otro lado, a no ser que la superficie de separación sea un dieléctrico perfecto, se producirán pérdidas de absorción cuando la onda incida.

En el caso de la difracción, la onda se transmite al segundo medio y esta experimenta cambios tanto de velocidad como de dirección. Este fenómeno solo se dará en el caso de que la onda incida oblicuamente en la superficie de separación y sus

índices de refracción sean distintos. El índice de refracción determina la reducción de la velocidad de la luz al propagarse por un medio homogéneo.

Las ecuaciones de Fresnell describen la reflexión y refracción de las ondas electromagnéticas en estas circunstancias, pero para ello tenemos que tener en cuenta la polarización de la onda. Así, si la onda tiene polarización vertical, o dicho de otra manera, su polarización es paralela al plano de incidencia, se define la siguiente fórmula:

$$r_{\text{paralelo}} = \frac{E_r}{E_i} = \frac{\eta_2 \sin\theta_i - \eta_1 \sin\theta_t}{\eta_2 \sin\theta_i + \eta_1 \sin\theta_t}$$

Si por lo contrario la polarización es horizontal o perpendicular, la formula es la siguiente:

$$r_{\text{perpendicular}} = \frac{E_r}{E_i} = \frac{\eta_2 \sin\theta_i - \eta_1 \sin\theta_t}{\eta_2 \sin\theta_i + \eta_1 \sin\theta_t}$$

Donde:

- $r_{\text{paralelo}}$ =Coeficiente de reflexión de Fresnel para la polarización paralela
- $r_{\text{perpendicular}}$ =Coeficiente de reflexión de Fresnel para la polarización perpendicular
- $E_r$ =Campo eléctrico reflejado
- $E_t$ =Campo eléctrico transmitido
- $\eta_2$ =Coeficiente de refracción del segundo medio
- $\eta_1$ =Coeficiente de refracción del primer medio
- $i$ =Angulo de incidencia
- $t$ =Angulo de transmisión

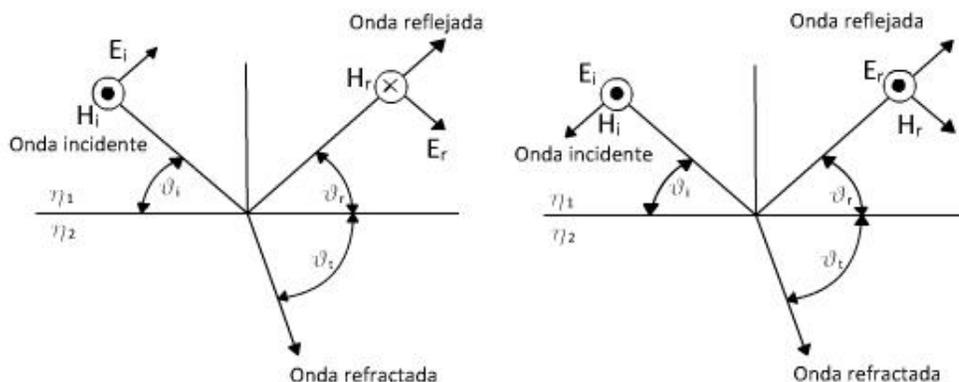


Figura 3.5. Reflexión dependiendo de la polarización de la onda electromagnética

### 3.1.2.2.-Difracción

Cuando un obstáculo se interpone en el camino de la propagación de las ondas se convierte en una fuente secundaria que emite ondas derivadas de la onda inicial. Este fenómeno se da gracias a que las ondas son capaces de rodear el obstáculo.[1]

Para que se dé la difracción la longitud de onda tiene que ser mayor que las dimensiones del objeto, por lo que la difracción se vuelve inapreciable cuando el objeto está dotado de unas dimensiones grandes en referencia a la onda.

Por lo tanto resulta obvio que contra menor sea la frecuencia, más apreciable será la difracción.

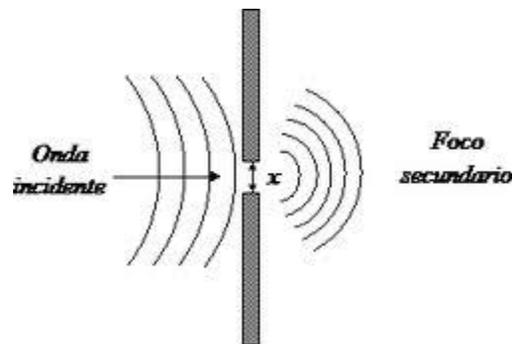


Figura 3.6.Difracción

A continuación se describirán los tipos más habituales de propagación

### 3.1.2.3.-Propagación por onda directa

Quando el transmisor y el receptor se sitúan en la superficie terrestre y entre ellos existe una visión directa, se modela la propagación mediante dos rayos, uno directo y otro reflejado.[1]

Quando existe la visión directa hay que tener en cuenta también el siguiente tipo de propagación, la propagación por superficie, ya que dependiendo de la naturaleza del terreno la frecuencia y la polarización de la onda puede ser relevante.

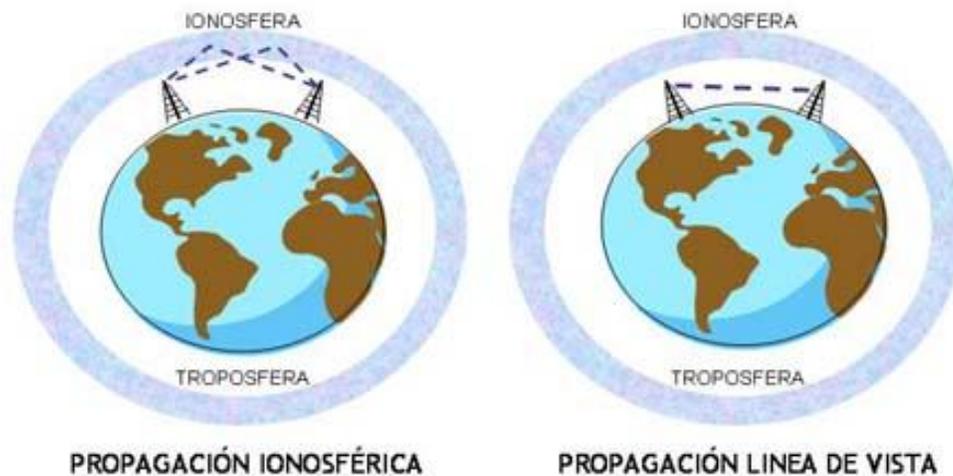


Figura 3.7.Propagación ionosférica y por onda directa

### 3.1.2.4.-Propagación por onda de superficie

Es el modo de propagación dominante para frecuencia bajas, entre 10 KHz y 10 MHz. Esta onda se va curvando y rodeando los obstáculos por efecto de la difracción y que esta es muy intensa a frecuencias tan bajas. Por ello se ve poco afectada por la curvatura de la tierra. Para que esta onda presente alcances útiles, su polarización ha de ser vertical, ya que las componentes horizontales son absorbidas por el suelo.[1]

### 3.1.2.5.-Propagación troposférica

Esta propagación puede actuar de dos formas diferentes, directamente de antena a antena, en caso de que estas tengan visión directa, o radiándose con cierto ángulo hacia los niveles superiores de la troposfera, donde esta se refleja hacia la tierra. El primer método está condicionado a la situación del receptor y el transmisor, ya que estos necesitan estar dentro de distancias de visión, la cual está limitada por la curvatura de la tierra, por lo que el segundo método cubre mayores distancias.[7]

### 3.1.2.6.-Propagación ionosférica

En este tipo de propagación, las ondas de radio de alta frecuencia se radian hacia la ionosfera donde se reflejan. La densidad entre troposfera e ionosfera, hace que la onda de radio se acelere y cambie de dirección, curvándose de nuevo hacia la tierra. La ventaja de esta transmisión es que permite cubrir grandes distancias con menor potencia de salida.[7]

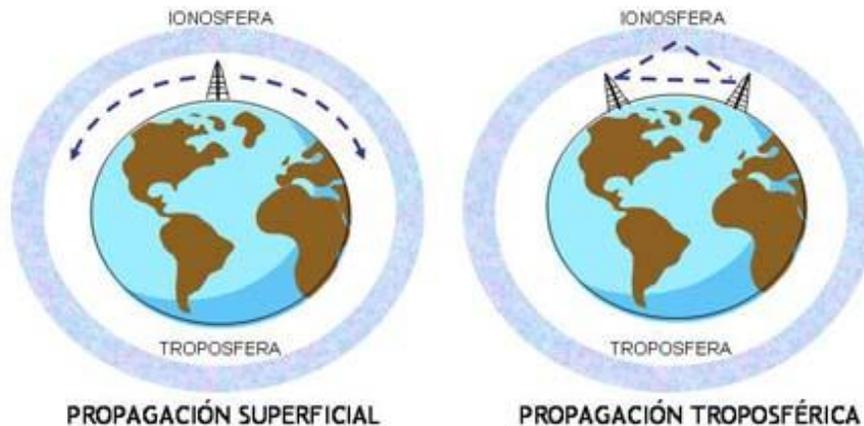


Figura 3.8.Propagación superficial y troposférica

### 3.1.2.7.-Propagación por el espacio

Para llevar a cabo esta propagación la onda es irradiada hacia el espacio, donde un satélite retransmitirá la señal sin necesidad de que se dé lugar la difracción atmosférica. Es básicamente una transmisión de visión directa haciendo uso de un intermediario. Con este sistema, se incrementa considerablemente la distancia que puede cubrir una señal.

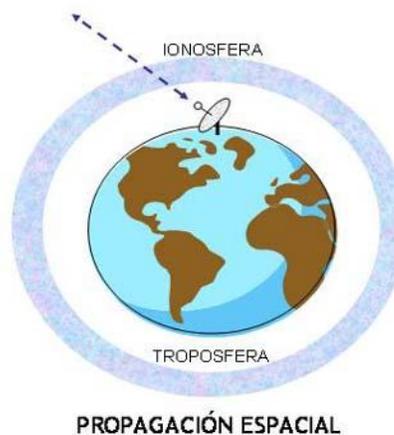


Figura 3.9.Propagación espacial

### 3.1.3.-Radiocomunicación

En este apartado se define la radiocomunicación y todos los conceptos básicos que tienen que ver con esta.[1]

La radiocomunicación se define como la telecomunicación que se realiza por medio de ondas radioeléctricas. Las ondas radioeléctricas son aquellas ondas electromagnéticas que se propagan por el espacio sin guía artificial y cuyo límite superior de frecuencia se fija en 3000 GHz.

La técnica de la radiocomunicación consiste en superponer la información a transmitir en una onda electromagnética denominada portadora. La inserción de esta información toma el nombre de modulación.

Como consecuencia se genera una onda modulada, en cuyo espectro se encuentra un conjunto de frecuencias en torno a la portadora, que es enviada al medio de propagación a través de un dispositivo de acoplamiento con el medio denominado antena.

La antena genera un flujo saliente de energía en forma de ondas electromagnéticas que toma el nombre de radiación.

El conjunto de equipos necesarios para el tratamiento de la información entre los que se encuentran antenas, moduladores, filtros y demás, forma la estación transmisora. La radiación producida por la estación se conoce como emisión o dicho de otra manera, el proceso de radiar una onda modulada.

La radiocomunicación se produce entre la estación emisora ya descrita y una estación receptora, que es el conjunto de equipos necesarios para el tratamiento de la señal recibida (antenas, amplificadores, demoduladores y filtros). La onda modulada generada en la estación transmisora y emitida al medio de propagación alcanza el punto o puntos de destino donde accede al sistema receptor por medio de una antena de recepción, la cual recoge una fracción de la energía radioeléctrica transmitida.

En todo este proceso, tanto los órganos de recepción como los de transmisión contribuyen positivamente a la radiocomunicación, a diferencia del medio de transmisión, que introduce pérdidas y diversos tipos de perturbaciones, las cuales se explican a continuación:

### *3.1.3.1.-Distorsión*

Se define distorsión como la diferencia entre la señal que entra en un sistema y la señal que sale de este, por lo tanto se podría decir que es la deformación que producen las diferentes partes del sistema en la forma de la señal original.[1]

Se dan dos tipos de distorsiones, las lineales y las no lineales. Dentro de las distorsiones lineales se encuentran las distorsiones de amplitud y fase.

La distorsión de amplitud se da cuando la señal a la salida del equipo no guarda la misma relación de amplitud que guarda la señal de entrada entre diferentes frecuencias

La de fase en cambio, se produce cuando a la salida no se conserva la relación de fase entre diferentes frecuencias.

Las distorsiones no lineales se producen cuando en la señal de salida aparecen frecuencias no deseadas que no había en la señal de entrada.

### *3.1.3.2.-Ruido e interferencias*

Las perturbaciones debidas al ruido se dan cuando aparece una señal no deseada de origen natural o artificial y las interferencias en cambio, son señales emitidas por otros destinos presentes en el receptor que el emisor no había emitido.[1]

La potencia extraída de la onda radioeléctrica debe competir tanto con la potencia del ruido como con la potencia de interferencia, por lo que se establece un valor umbral que depende de la clase de radiocomunicación y frecuencia de la portadora, por debajo del cual no se puede recuperar la información.

El alcance útil o cobertura de una emisión radioeléctrica depende del tipo e intensidad de las perturbaciones. Cuando solo interviene el ruido, el umbral es la potencia mínima para obtener cierta calidad de recepción. En el caso de que la perturbación genere una interferencia, el alcance de cobertura viene establecido por la relación de potencia entre la señal deseada y la señal interferente para una calidad de recepción específica.

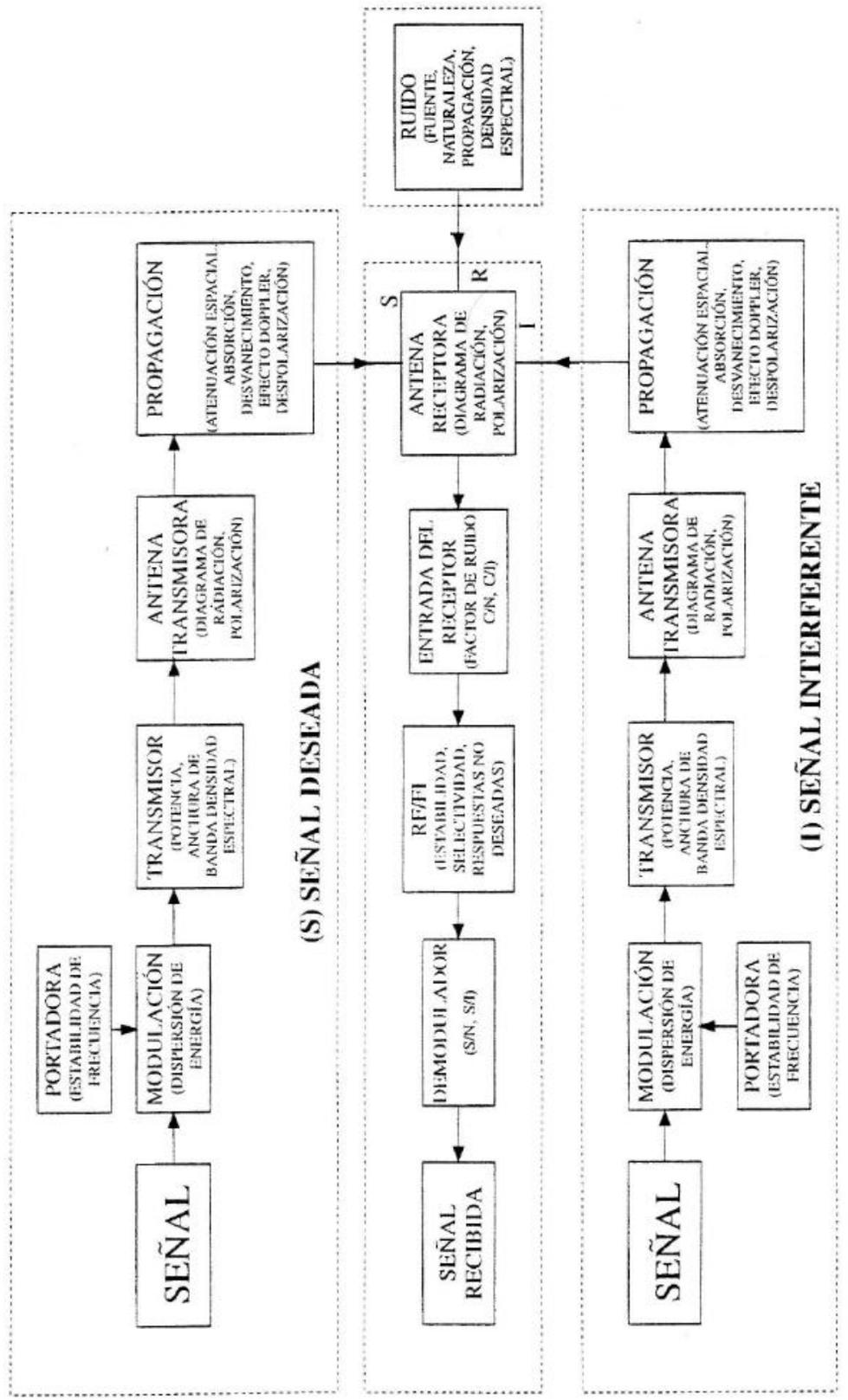


Figura 3.10. Proceso de radiocomunicación

### *3.1.3.3.-Modos de explotación*

Los modos de explotación se refieren a la forma en el que se comunican dos puntos de enlace y en radiocomunicación se distinguen tres modos de explotación:

#### **3.1.3.3.1.-Simplex**

Modo de explotación que solo permite transmitir alternativamente en uno u otro sentido de un canal de radiocomunicación pero nunca en los dos sentidos.

#### **3.1.3.3.2.-Duplex**

Modo de explotación que permite la transmisión en los dos sentidos de un canal de radiocomunicación. Para que esto sea posible es necesario el uso de dos frecuencias para la transmisión en los dos sentidos.

#### **3.1.3.3.3.-Semiduplex**

Modo de explotación simplex en un punto del enlace y en el otro modo dúplex, en este caso también es necesario el uso de dos frecuencias diferentes para la comunicación.

### *3.1.3.4.-Frecuencias radioeléctricas*

El espectro radioeléctrico se divide en bandas de frecuencia y estas se atribuyen a los diferentes servicios radioeléctricos. El espectro radioeléctrico es un recurso natural muy escaso, por lo que su uso debe ser lo más óptimo posible y el hecho de necesitar una frecuencia radioeléctrica para cada enlace de radiocomunicación hace de esta labor algo muy complicado.[1]

Las atribuciones son efectuadas por la UIT y quedan recogidas en el Cuadro de Atribuciones de Bandas de Frecuencias del Reglamento de Radiocomunicaciones.

El espectro radioeléctrico se divide en nueve bandas de frecuencia designadas por números enteros en orden creciente, como se puede comprobar en la siguiente tabla.

<i>Número de la banda (N)</i>	<i>Símbolos (en inglés)</i>	<i>Gamas de frecuencias (excluido el límite inferior pero incluido el superior)</i>	<i>Designación métrica correspondiente</i>	<i>Abreviaturas métricas para las bandas</i>
4	VLF	3 a 30 kHz	Ondas miriamétricas	B. Mam
5	LF	30 a 300 kHz	Ondas kilométricas	B. km
6	MF	300 a 3.000 kHz	Ondas hectométricas	B. hm
7	HF	3 a 30 MHz	Ondas decamétricas	B. dam
8	VHF	30 a 300 MHz	Ondas métricas	B. m
9	UHF	300 a 3.000 MHz	Ondas decimétricas	B. dm
10	SHF	3 a 30 GHz	Ondas centrimétricas	B. cm
11	EHF	30 a 300 GHz	Ondas milimétricas	B. mm
12		300 a 3.000 GHz	Ondas decimilimétricas	

Tabla 3.1. Bandas de frecuencia

La tecnología RFID trabaja en tres bandas de frecuencia diferentes, LF (125 KHz), HF (13,56 KHz) y UHF (860-960 MHz y 2,4 GHz).

Además, se divide el mundo en tres regiones diferentes y se distribuyen tres tipos de servicios, primarios, permitidos y secundarios.

Los servicios primarios y permitidos tienen los mismos derechos, pero los primarios tienen preferencia a la hora de elegir frecuencia. Los secundarios sin embargo pueden usar las frecuencias del cuadro, pero no pueden interferir en los primarios o permitidos-

## 3.2.-Tecnología RFID

### 3.2.1.-Introducción

En los últimos años los procedimientos de identificación automática se han convertido en algo popular en muchos sectores, logística de distribución y compra, industria, compañías de manufactura, sistemas de flujo de materiales, identificación de personas o animales, etc. En definitiva, la identificación automática existe para proporcionar información sobre personas, animales, bienes y productos de tránsito.

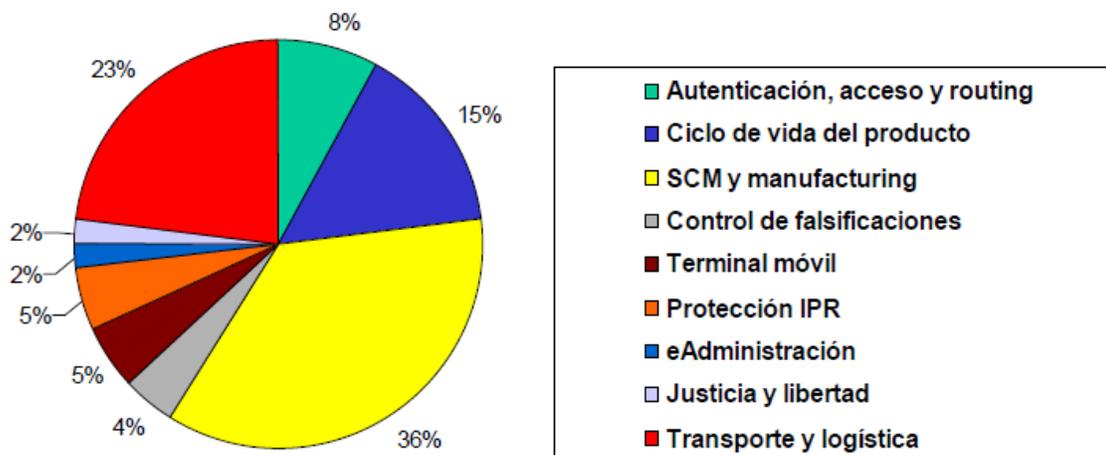


Figura 3.11. Uso del RFID

El código de barras, lo que supuso una revolución en los sistemas de identificación, es cada vez más inadecuado, ya que a pesar de ser un sistema muy barato, su capacidad de almacenamiento es reducida y el no se pueden reprogramar.

La solución técnicamente más óptima es el almacenamiento en chips de silicio, un sistema muy común hoy en día dado su uso en tarjetas inteligentes basadas en un campo de contacto (tarjetas bancarias, tarjetas de teléfono, etc.). Pero presenta una gran desventaja, la necesidad de contacto mecánico entre el dispositivo emisor y el dispositivo receptor, lo que lo convierte en algo poco flexible.

Lo ideal es un sistema flexible, barato, robusto y en definitiva versátil que adquiere el nombre de RFID o identificación por radiofrecuencia. Este sistema cumple las cuatro condiciones, ya que el tag o receptor puede ser una pegatina con un chip que se sitúa en cualquier parte del objeto a identificar y que siendo pasivo no necesitara ningún tipo de alimentación. Además su lectura se llevara a cabo mediante

radiofrecuencia, lo que implica que no sea necesaria la visión directa entre receptor y emisor.

Dado el gran numero de aplicaciones de este sistema, este proyecto se centra en comprobar la seguridad de este sistema en el entorno logístico, haciendo tanto medidas reales como llevando a cabo cálculos teóricos, con el fin de ser capaces de emular un sistema RFID en un entorno teóricamente y que esta simulación sea lo más real posible.

### 3.2.2.- ¿Que es la tecnología RFID?

El RFID es una tecnología que haciendo uso de las ondas electromagnéticas es capaz de intercambiar información de identificación mediante diferentes dispositivos, que normalmente se componen de etiquetas o tags que guardan la información del objeto específico y una antena que se encarga de preguntar y posteriormente recibe la información.

RFID cuyas siglas en ingles significan Radio Frequency Identification (Identificación por radiofrecuencia) es un sistema englobado dentro de los Auto-ID (Auto Identification) junto con los sistemas de código de barras, identificación ocular, identificación por voz y demás. La característica común de todos estos sistemas es que son capaces de identificar algo automáticamente o sin necesidad de que un humano intervenga en el proceso de identificación.

#### 3.2.2.1.-Sistemas Auto-ID

Se diferencian cuatro tipos de sistemas Auto-Id además del sistema RFID, de los cuales se hará una pequeña descripción en las siguientes líneas [2]:

##### 3.2.2.1.1.-Codigo de barras

El código de barras es de todos los sistemas Auto-ID el más extendido y seguramente el más conocido, ya que existe desde 1952 y empezó a comercializarse en la década de los 60, aunque no sería un éxito comercial hasta 1980.

Es una técnica de entrada de datos que está compuesta por barras y espacios paralelos de anchura variable que representan números descifrables por lectores ópticos o scanners. El código identifica cada producto de forma única, ya que cuenta con información detallada del artículo o del documento que contiene esta información, gracias a la asociación con una base de datos.

Los lectores ópticos que se encargan de obtener la información emiten una luz roja que se refleja en los patrones de luz clara y oscura contenidos en las barras y espacios. Estos reflejos son tomados por un transductor incorporado en el escáner que los convierte en una señal eléctrica que se puede interpretar como unos y ceros.

Este sistema permite la identificación de cada producto de una forma única y global, sin ningún tipo de ambigüedad, por lo que proporciona información oportuna y veraz en el momento que esta se requiere.

Aunque el uso común y con el que todo el mundo lo asocia sea el de la compraventa, hoy en día está extendido en muchos otros sectores, en la industria, instituciones educativas, la banca, aduanas, aseguradoras, etc.

Se dividen en dos grupos, los lineales o de una dimensión y los bidireccionales o de dos dimensiones. Los lineales solo contienen una línea de información de 20 dígitos, mientras que los bidireccionales, son capaces de representar 2725 dígitos, por lo que se usa en procesos en los que se requiere guardar más información, como por ejemplo en documentos para controlar su envío o en seguros médicos.



Figura 3.12. Código de barras unidireccional y bidireccional

### 3.2.2.1.2.-Reconocimiento óptico de caracteres

Este proceso resulta muy útil ya que existe y continuamente se genera una gran cantidad de información escrita, tipográfica o manuscrita y la conversión de esta información analógica a un formato digital sin necesidad de que un ser humano la teclee, ahorra muchos recursos humanos y aumenta mucho la productividad.

El reconocimiento óptico de caracteres es el proceso de cambiar una imagen digitalizada en texto editable con un ordenador. Una imagen es un gráfico electrónico de texto y esta no se puede editar, ya que está definida por píxeles que conforman el gráfico.

Este sistema se inicia a partir del análisis de las imágenes, que pueden ser escaneadas o digitalizadas de cualquier otra forma. Este proceso convertirá este

conjunto de puntos que forman los caracteres, en caracteres manipulables, mediante la comparación de estos con patrones o plantillas que contienen todos los posibles caracteres.

Pero este proceso no es nada simple, necesita de muchas técnicas de procesado de imagen para que la información contenida en los textos escritos, se digitalice adecuadamente y sin ningún tipo de error y más cuando el texto es manuscrito y las características de este dependen de las costumbres de escritura del creador.

El reconocimiento óptico es muy útil en muchos sectores, de los que se destacan el reconocimiento de matriculas, digitalización de libros o indexación en bases de datos.

### **3.2.2.1.3.-Sistemas biométricos**

Los sistemas biométricos hacen uso de la biometría o ciencia que se dedica a la identificación de individuos a partir de una característica anatómica o un rasgo de su comportamiento. Por lo tanto aprovechan las características que solo se dan en un individuo y son irrepetibles para poder identificarlo de manera inequívoca.

En un sistema biométrico, la persona es reconocida por el sistema cuando todas o casi todas las características que antes han sido registradas y guardadas en una base de datos, concuerdan con esta, de tal manera que si otra persona, cuyas características nunca serán similares o iguales a la de otra persona intenta identificarse, el sistema lo rechazara.



Figura 3.13.Sistema de reconocimiento por huella dactilar

Dentro de estos sistemas se encuentran las huellas dactilares, las retinas, el iris, los patrones faciales entre otras muchas. Como el objeto de este proyecto no se centra

en describir los diferentes sistemas de auto-Id no se hará hincapié en la forma de lectura de ninguna de estas características.

### **3.2.2.1.4.-Tarjetas inteligentes**

Las tarjetas inteligentes junto a los códigos de barras es uno de los sistemas Auto-Id más extendido hoy en día en gran parte gracias a las tarjetas de crédito. Estas tarjetas existen desde la década de los setenta, aunque su uso masivo no llego hasta la década de los ochenta cuando en Francia se empezaron a usar para el pago del teléfono público. Aunque el mayor auge lo sufrieron con la llegada de la telefonía móvil y las tarjetas SIM.

La tarjeta inteligente no es más que una tarjeta con un circuito integrado que permite la ejecución de cierta lógica programada. Las tarjetas permiten tres tipos de tareas, almacenar, encriptar y leer y escribir información.

El lector es el que proporciona la alimentación necesaria para que esta funcione, por lo tanto se puede afirmar que se trata de un sistema pasivo y por lo tanto no necesita alimentación propia, lo que facilita que su tamaño sea reducido.

Un contacto metálico, o una lectura laser permite la transferencia de información entre el lector y la tarjeta y la tasa de transferencia de datos es de 9600 baudios.

Estas tarjetas se usan en numerosos campos para diferentes funciones, entre ellas las más destacables, tarjetas SIM, tarjetas de crédito, tarjetas monedero etc.



Figura 3.14.Tarjeta inteligente

Una vez presentados todos los sistemas de Auto-id, se puede ver porque el RFID es el más efectivo de todos ellos, por lo menos para la función que toma en este proyecto. En primer lugar no necesita visión directa como el código de barras, cuya forma de lectura es óptica. Además, el número de datos almacenables en un sistema

RFID es superior. Los sistemas Biométricos en cambio, solo son útiles para la identificación de seres humanos y quizás de animales, pero nunca para objetos inanimados.

El reconocimiento óptico si se implementa de forma eficaz ofrece grandes posibilidades para digitalizar información, pero el proceso de lectura es demasiado complejo, comparado con el código de barras por ejemplo.

Por último se podría pensar que las tarjetas inteligentes son la alternativa más óptima a los sistemas RFID, pero estas presentan un gran inconveniente, ya que necesitan de contacto directo para el intercambio de información y eso es muchas circunstancias no resulta práctico.

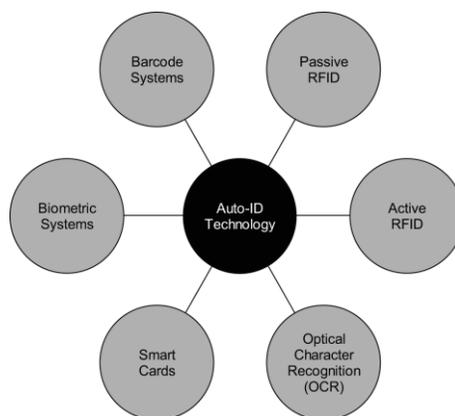


Figura 3.15.Sistemas Auto-ID

Las etiquetas RFID son dispositivos de tamaño reducido que pueden ser adheridos o colocados en el objeto a identificar, ya sea un producto, animal, o persona. En última instancia no es más que una antena que gracias a la influencia del campo interrogador producido por el lector envía una secuencia de datos que contienen la información de identificación.

Este sistema muestra una gran ventaja, ya que se puede hacer una identificación sin necesidad de que antena y tag tengan visión directa ya que este proceso se lleva a cabo mediante radiofrecuencia. Esto también muestra un gran inconveniente, puesto que las ondas electromagnéticas pueden invadir áreas no deseadas, con el consecuente riesgo en seguridad por el uso indebido que puedan hacer terceras personas de estas o simplemente por que interfieran con otros sistemas electromagnéticos.

### 3.2.3.-Historia del RFID

Los primeros ejemplos de procedimientos similares a RFID se remontan a la década de 1920 y se relaciona con la II Guerra Mundial, donde el uso del radar para detectar aviones era algo habitual. El problema era que no había manera de distinguir entre aviones amigos o enemigos, pero el ejército alemán descubrió que si los pilotos balanceaban sus alas al volver a la base, la señal de radio reflejada cambiaria, funcionando de forma similar a un dispositivo RFID pasivo.[8]

En 1939 los británicos inventaron el sistema IFF (“Identification Friend or For” o “Identificación Amigo o Enemigo”), una tecnología que servía para identificar aeroplanos utilizada en la II Guerra Mundial. La primera serie de equipos electrónicos que se construyeron para la identificación recibieron el nombre de “Transponders” (Equipos que reciben en una frecuencia y transmiten en otra), que estuvo operativa a partir de 1940 con el nombre de MARK I.

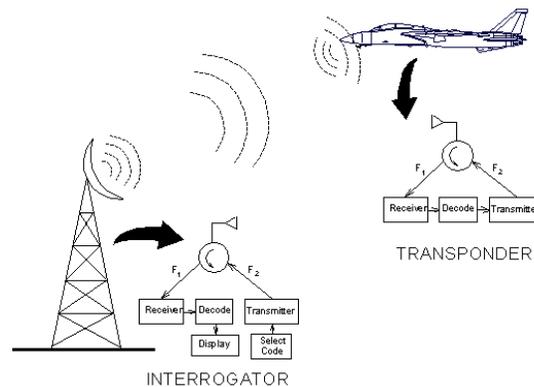


Figura 3.16.Sistema IFF

En la década de los 60 se implantaría el EAS “Electronic Article Surveillance” (Vigilancia Electrónica de Artículos), un sencillo sistema para detectar robos en grandes almacenes, que solo usaba un bit para detectar la etiqueta o no por el lector y hacer sonar una alarma acústica en caso de que pasara una etiqueta sin desactivar. Este método era muy económico y efectivo por lo que su uso se extendió rápido.

En 1973 Mario Cardullo patentó lo que sería el primer antecesor real del RFID moderno, un transceptor de radio pasivo con memoria. Este dispositivo estaba potenciado por la señal emisora y contaba con 16 bits de memoria. Fue demostrado

ante la autoridad portuaria de Nueva York y otros usuarios potenciales en 1971 y su objetivo era ser un dispositivo de peaje. Este sistema abría las puertas sin necesidad de llaves, una tarjeta con un transpondedor comunicaba una señal al lector de la puerta que cuando validaba la tarjeta desbloqueaba la cerradura.

El plan de negocio original presentaba usos en los sectores de transporte (identificación de vehículos, sistema automático de peaje, placas vehiculares electrónicas, etc.), banca (cheque electrónico, tarjetas de crédito electrónicas), seguridad (identificación de personal, vigilancia) y cuidados de la salud (Identificación, historial de pacientes), muchos de los ampos en los que hoy en día es utilizado el RFID.

En la década de los 80 empezó a implementarse esta tecnología, en EEUU se implemento en aplicaciones para transporte acceso y en menor medida en los animales y en países europeos como Francia, España, Portugal e Italia se centraron en aplicaciones industriales y sistemas de corto alcance para controlar animales.

En la década de los 90 el RFID seguiría extendiéndose con el uso en EEUU del peaje con control remoto al paso de los vehículos, en Europa se usaría para el control de acceso y billetes electrónicos. Por último se daría un gran avance en el mundo del automóvil implantándose varias acciones como el sistema de control de encendido y de acceso al automóvil. El éxito de la tecnología RFID hizo que se a partir de aquí se aplicara en otros muchos campos.

Actualmente el principal desarrollador y responsable de implantar esta tecnología es AutoID Labs, una sociedad constituida en 1999 que se conforma de un centenar de empresas, universidades y centros de investigación de todo el mundo. Estos son los responsables de desarrollar la red EPC (Código Electrónico de Producto) y sus componentes. El EPC es un código único que se graba en el tag RFID y se coloca en cada producto, pudiendo hacer un seguimiento exacto de cada unidad física. Este contendrá el Global Trade Item Number (GTIN), identificación de la empresa y producto del sistema más otros datos adicionales, dándole la identificación única. Este código tiene 96 bits.

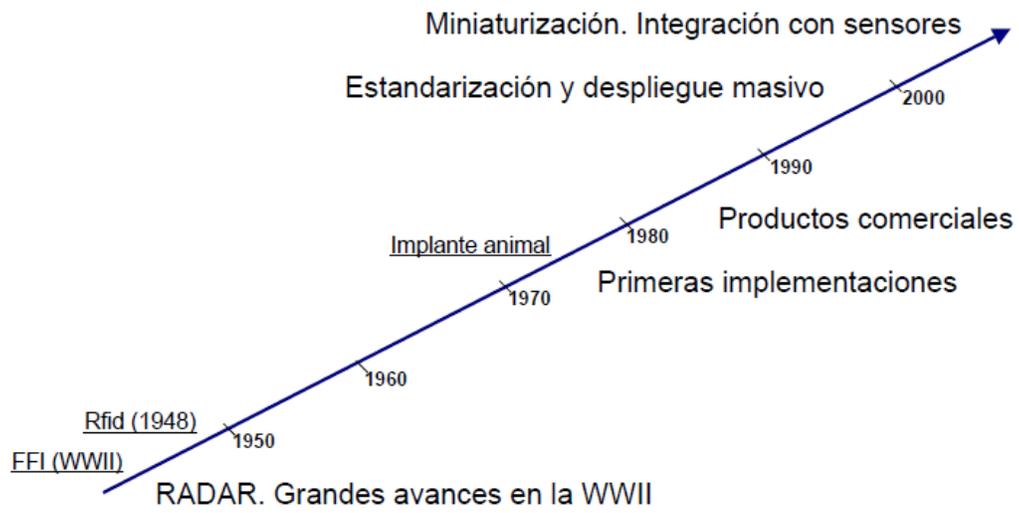


Figura 3.17. Historia del RFID

### 3.2.4.-Fundamentos básicos de los sistemas RFID

El esquema básico del sistema RFID se compone de un tag y un lector conectado a una antena y una base de datos, aunque este lector pueda hacer las veces de emisor y receptor en muchas ocasiones se usa un dispositivo que emite la señal interrogante y otro que recibe la respuesta del tag.

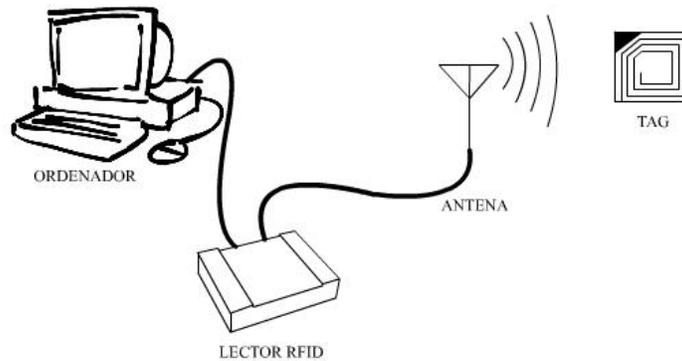


Figura 3.18. Esquema básico del sistema RFID

Dentro de este esquema, el ordenador central o base de datos es el encargado de controlar el funcionamiento del conjunto de los elementos y realizar la gestión de los datos obtenidos. El lector es el encargado de comunicarse con el tag o etiqueta que contiene la información que queremos obtener mediante radiofrecuencia.

La comunicación entre lector y tag a priori parece un procedimiento muy simple, el lector genera un campo electromagnético que excita el transpondedor lo que provoca que este envíe la información previamente guardada en él.

Los tags RFID típicamente se componen de una antena emisora y un chip que guarda la información, aunque también existen las etiquetas que no contienen ninguna información y solo avisan de su presencia, estas forman parte del sistema EAS ya mencionado.

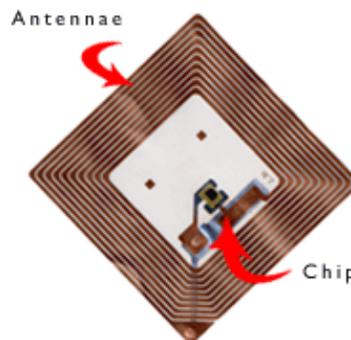


Figura 3.19. Tag RFID

Los tags se pueden dividir en dos grupos, activos y pasivos. La diferencia entre ellos es que las etiquetas pasivas no tienen ninguna fuente de alimentación incorporada y su total alimentación depende exclusivamente del campo electromagnético generado por el lector y los tags activos en cambio, cuentan con una fuente de alimentación interna. La ventaja principal del segundo tipo de tag es que permite comunicaciones a más largas distancias ya que la energía recibida se usa íntegramente para enviar el mensaje y no se desvía parte a alimentar el chip.

A continuación se da una descripción más precisa de los tipos de transpondedor y su modo de funcionamiento.

### 3.2.5.-Clasificación de transpondedores RFID

A continuación se lleva a cabo una clasificación de los diferentes tipos de transpondedores RFID que existen hoy en día en el mercado y se explica su funcionamiento.[2]

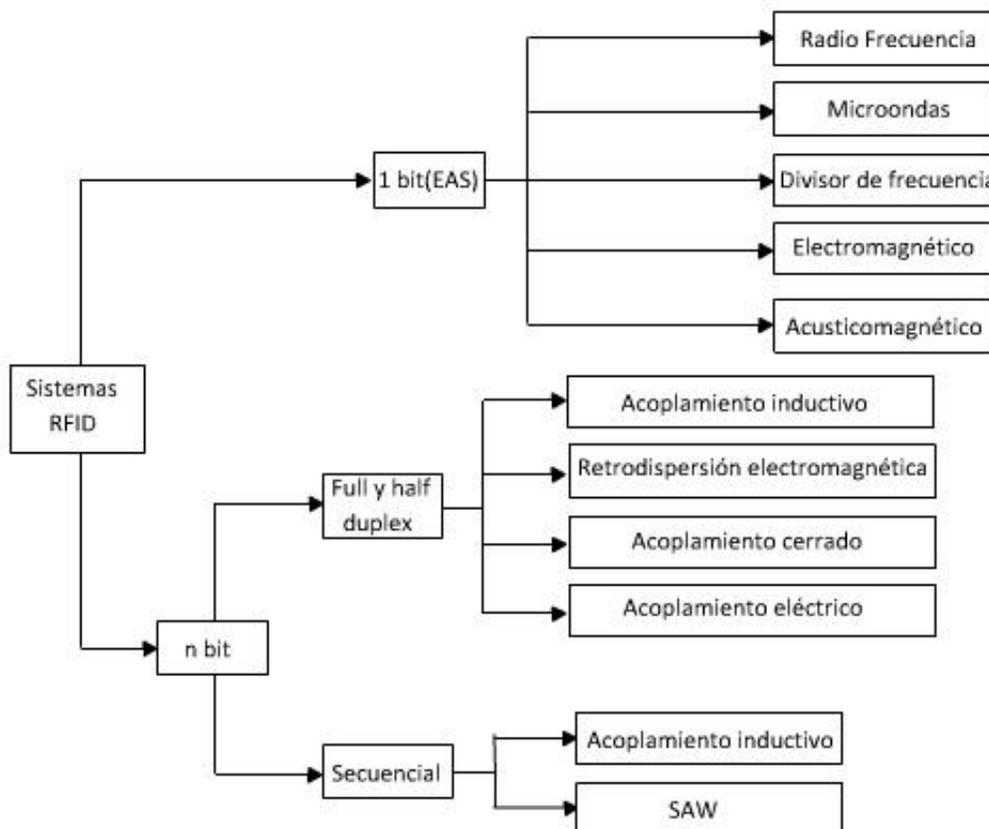


Figura 3.20. Clasificación de transpondedores RFID

### *3.2.5.1.-Transpondedor de 1 bit*

Un bit es la unidad más pequeña de información que puede ser representada y tiene solo dos estados (1 y 0). Lo que significa que los sistemas basados en un transpondedor de 1 bit solo pueden representar dos estados “Transpondedor en la zona de interrogación” y “No hay transpondedor en la zona de interrogación”. A pesar de sus limitaciones, los transpondedores de 1-bit están muy extendidos, principalmente en los dispositivos electrónicos antirrobo en tiendas (EAS).

El sistema EAS se compone de los siguientes componentes: El lector o interrogador, el elemento de seguridad o etiqueta y un dispositivo de desactivación opcional que permite desactivar la etiqueta después del pago.



Figura 3.21.Tag EAS

La característica principal del funcionamiento para todos los sistemas es el reconocimiento o la tasa de detección en relación con el ancho de la puerta (distancia máxima entre el transpondedor y la antena interrogante).

#### **3.2.5.1.1.-Radio frecuencia**

La radiofrecuencia (RF) se basa en circuitos resonantes LC ajustados a una frecuencia de resonancia definida. El tag está compuesto por bobinas grabadas entre láminas en forma de etiquetas adhesivas

El lector genera un campo magnético alterno y si el circuito LC resonante se acerca a las proximidades del campo magnético alterno, la energía del campo puede ser inducida en el circuito de resonancia a través de sus anillos gracias a la ley de Faraday. Si

la frecuencia del campo alterno se corresponde con la frecuencia del circuito, este produce una oscilación simpática.

Por consecuencia de esto, la corriente que fluye en el circuito de resonancia actúa en contra de su causa, es decir, actúa contra el campo magnético externo, produciendo un pequeño cambio en la caída de tensión en la bobina del generador del emisor, lo que genera un debilitamiento de la intensidad del campo magnético medible.

La magnitud relativa de los cambios en el voltaje en el generador y las bobinas del sensor es generalmente muy baja y por lo tanto difícil de detectar, pero interesa que la señal sea lo más clara posible para que el detector funcione de manera fiable. Para esto se usa una frecuencia del campo magnético variable o un barrido de frecuencias, produciéndose una caída de tensión clara cuando las dos frecuencias coinciden.

Las etiquetas no se suelen retirar en la caja, por lo tanto hay que desactivarlas. Para esto, se genera un campo magnético lo suficientemente fuerte para que el voltaje inducido destruya el condensador de aluminio del transpondedor, que está construido intencionadamente con puntos de cortocircuito. Este proceso es irreversible y desafina los condensadores de tal manera que estos ya no pueden ser excitados por la señal de barrido.

### **3.2.5.1.2.-Microondas**

El sistema EAS en el rango de microondas explota la generación de armónicos en componentes de características no lineales, por ejemplo, los diodos. Los armónicos de una señal senoidal A con una frecuencia  $f_A$  es una tensión senoidal B cuya frecuencia  $f_B$  es un múltiplo entero de  $f_A$ . Por lo tanto los subarmónicos de  $f_A$  son  $2f_A$ ,  $3f_A$ ,  $4f_A$ ...,  $nf_A$ .

Cuando el transpondedor se encuentra dentro del alcance del transmisor, el flujo de corriente en el diodo genera y emite armónicos de la onda portadora. El segundo armónico es detectado por un receptor ajustado a la frecuencia precisa que puede activar un sistema de alarma. Las señales distintivas, se obtienen en dos o tres veces la onda portadora, en función del diodo utilizado.

Si la amplitud es modulada entonces los armónicos incorporaran la misma modulación, pudiendo así distinguir entre las interferencias y las señales útiles, evitando falsas alarmas.

El diseño de un transpondedor de 1-bit para la generación de armónicos es muy simple, se conecta un diodo de capacitancia a la base de un dipolo ajustado a la onda portadora.

Este tipo de transpondedores se utilizan para proteger textiles y se remueven en la caja, pudiéndose volver a usar en el futuro.

### **3.2.5.1.3.- Divisor de frecuencia**

Este procedimiento funciona en la banda de onda larga (100-135,5 kHz). Las etiquetas contienen un circuito semiconductor o microchip y una bobina de un circuito resonante. El circuito de resonancia está hecho para resonar en la frecuencia de funcionamiento del sistema EAS utilizando un condensador soldado.

El microchip está alimentado por el campo magnético del dispositivo de seguridad y su función es dividir la frecuencia de la bobina y enviarla de vuelta al dispositivo de seguridad

El campo magnético del dispositivo se modula a una frecuencia más baja para mejorar la tasa de detección al igual que en el procedimiento para la generación de armónicos.

Estos transceptores se suelen encontrar en forma de etiquetas duras y se eliminan cuando se compra el producto.

### **3.2.5.1.4.- Electromagnéticos**

Funcionan con fuertes campos magnéticos del orden de 10 Hz a 20 kHz. Los elementos de seguridad contienen una banda magnética de metal amorfo con una empinada curva de histéresis. La magnetización de estas franjas se invierte periódicamente y las tiras se saturan por el fuerte campo magnético alterno.

La relación no lineal entre la intensidad de campo H y la densidad de flujo magnético B cerca de la saturación, además del repentino cambio de densidad del flujo B en las cercanías del cruce por cero de la intensidad de campo H, genera armónicos a la frecuencia del dispositivo de seguridad que pueden ser recibidos y evaluados por este.

Debido a la frecuencia de operación baja de este sistema, el sistema electromagnético es el único sistema adecuado para los productos que contienen metal, aunque muestran un gran inconveniente, la función de los tags dependen de la posición.

Las etiquetas están disponibles en forma de tiras autoadhesivas con longitudes que van desde unos pocos cm a 20 cm. Para su desactivación, las etiquetas están recubiertas de una capa magnética de metal duro y se lleva a cabo aplicando un potente imán duro a lo largo de la tira de metal para desactivar los elementos de seguridad.

Las etiquetas se pueden reactivar en cualquier momento por desmagnetización y tanto el proceso de activación como el de desactivación se puede llevar a cabo tantas veces se quiera. Por esta razón, estos sistemas fueron utilizados originalmente en las bibliotecas de préstamos, aunque gracias a que son pequeñas y económicas se utilizan cada vez más en la industria de comestibles.

### **3.2.5.1.5.-Acusticomagnéticos**

Estos elementos de seguridad consisten en cajas de plástico muy pequeñas (40mm de largo y de 8 a 14mm de ancho y 1 mm de alto), que contienen dos placas metálicas, una tira de metal duro magnético conectado a la caja de plástico y una tira de metal amorfo que es libre para vibrar mecánicamente.

Los metales ferromagnéticos cambian ligeramente su longitud en un campo magnético bajo la influencia de la intensidad del campo H. Este efecto se denomina magnetostricción y es el resultado de un pequeño cambio de la distancia interatómica como resultado de la magnetización. En un campo magnético alterno, una tira de metal magnetostrictiva vibra en la dirección longitudinal de la frecuencia de campo, teniendo una amplitud mucho más elevada si la frecuencia del campo magnético corresponde con la frecuencia de resonancia de la tira de metal.

El factor decisivo es que el efecto magnetostrictivo es reversible, es decir, que una tira de metal oscilante magnetostrictiva emite un campo magnético alterno. El sistema está diseñado para que para que la frecuencia del campo magnético generado coincida con la frecuencia de resonancia de las tiras de metal del elemento de seguridad, de tal manera que la tira de metal amorfa empiece a oscilar bajo la influencia del campo magnético. Si este campo se apaga, la banda magnética excitada seguirá oscilando pasado un tiempo de tal manera que el sistema de seguridad pueda detectarlo.

### Acousto-Magnetic

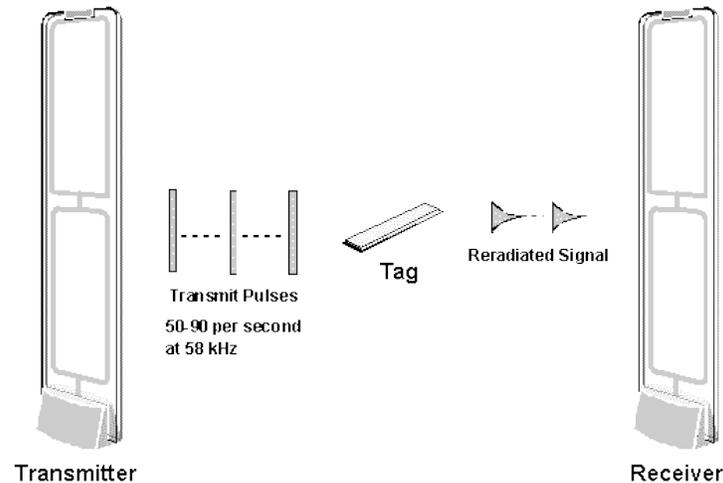


Figura 3.22. Sistema acusticomagnético

La gran ventaja de este sistema por lo tanto es que el sistema de seguridad no está transmitiendo mientras el tag está respondiendo por lo que el receptor se podrá diseñar con un menor grado de sensibilidad.

En su estado activo, los elementos de seguridad acusticomagnéticos están magnetizados y para desactivarlos hay que desmagnetizar la tira de metal duro magnético. De esta manera, se desafina la frecuencia de resonancia de la tira y por lo tanto no puede ser excitado por la por la frecuencia de funcionamiento del sistema. La tira de metal duro, solo puede ser desmagnetizada por un fuerte campo magnético alterno con una intensidad de campo de decaimiento lento, lo que hace imposible que los clientes desactiven el sistema mediante el uso de imanes permanentes.

#### 3.2.5.2.- Transpondedor de n-bit

A diferencia de los transpondedores de 1-bit, que normalmente explotan simples efectos físicos, los transpondedores de n-bits hacen uso de un microchip electrónico como dispositivo de soporte. Estos tienen una capacidad de almacenamiento de datos de unos pocos kilobytes.

Para leer o escribir datos en el dispositivo, se debe poder transferir datos entre el emisor y receptor y esto se lleva a cabo de acuerdo con uno de los dos procedimientos principales: full y half Duplex o los sistemas secuenciales.

### **3.2.5.2.1.-Sistemas Half y Full duplex**

El sistema half duplex alterna la transferencia de datos del transpondedor al lector con la transferencia de datos desde el lector para el transpondedor en frecuencia inferiores a 30 MHz.

En el sistema full duplex sin embargo la transferencia de datos en las dos direcciones es simultánea, por lo que es necesario que las dos señales viajen en frecuencias diferentes.

Ambos sistemas tienen en común que la transmisión de datos es continua, a diferencia de los sistemas secuenciales, que la transmisión de datos se da en un pequeño intervalo de tiempo.

#### **3.2.5.2.1.1.-Acoplamiento inductivo**

Un transpondedor de acoplamiento inductivo está formado por un único microchip y una bobina que hace la función de antena. Estos transpondedores normalmente son pasivos, lo que significa que la energía necesaria para que el microchip funcione es facilitada por el lector.

El lector genera un fuerte campo electromagnético, que podría ser tratado simplemente como un campo magnético, que penetra en la bobina de la antena del transpondedor, generándose así la tensión que alimenta el microchip.

Si un transpondedor de resonancia se coloca dentro del campo magnético alterno de la antena del lector, el transpondedor absorberá la energía del campo magnético. La información resultante del transpondedor en la antena del lector puede ser representada como la impedancia transformada en la bobina de la antena del lector.

Apagando y encendiendo una resistencia de carga, se conseguirá un cambio en la impedancia y por lo tanto cambios de tensión en la antena del lector. Si el tiempo de apagado y encendido de la resistencia se controla mediante datos, estos datos serán transferidos al lector. Este tipo de transferencia de datos, se llama modulación de carga.

Los datos se transfieren modulados en ASK, FSK o PSK. La modulación de carga con una subportadora crea dos bandas laterales de modulación en la antena del lector a la distancia de la frecuencia de la subportadora. Estas bandas laterales de modulación, se pueden separar de la señal del lector mediante un filtro paso banda, haciendo mucho más fácil su demodulación.

Debido al gran ancho de banda necesario para la transmisión de una subportadora, este procedimiento solo se lleva a cabo en frecuencias ISM, 6,78 MHz, 13,56MHz y 27,125MHz.



Figura 3.23.Lector de acoplamiento inductivo

### ***3.2.5.2.1.2.-Acoplamiento electromagnético de retrodispersión***

Los sistemas RFID en la que la distancia entre el lector y el transpondedor es superior a 1m se denominan de largo alcance. Estos sistemas funcionan en las frecuencias UHF de 868 MHz (Europa) y 915 MHz (EEUU) y en la frecuencia de microondas de 2,5 GHz y 5,8 GHz. Las longitudes de onda corta de esas bandas de frecuencia facilitan la construcción de antenas de dimensiones mucho más pequeñas y eficaces que utilizando rangos de frecuencia inferiores a 30 MHz.

Estos sistemas RFID son capaces de trabajar a una distancia de alrededor de 3 metros a la frecuencia de 868 MHz y a poco mas de 1 metro a 2,45 GHz, por lo tanto, con el fin de alcanzar grandes distancias, de hasta 15 metros a menudo se les agrega una batería. Para que no se de un uso de la batería innecesario, los microchips se diseñan para que en el caso en el que el transpondedor este fuera del alcance del lector, el chip se ponga en modo de ahorro de energía. El chip no se reactivara hasta que llegue una señal lo suficientemente potente.

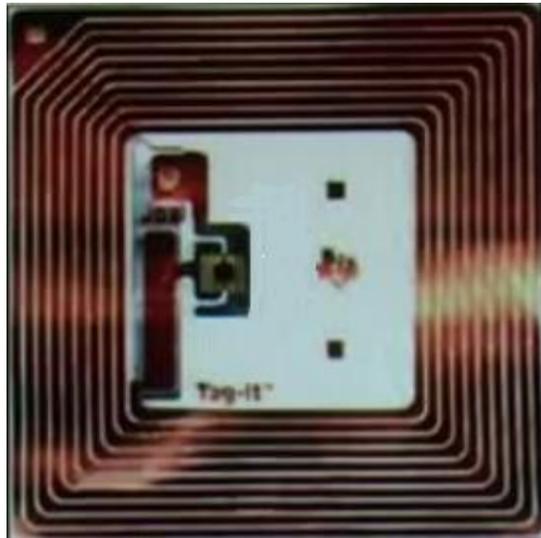


Figura 3.24 Tag de acoplamiento electromagnético de retrodispersión

En cualquier caso, la batería nunca proporcionara energía para la transmisión, su función es única y exclusivamente alimentar el chip, la transmisión de datos entre el transpondedor y el lector se basa siempre en la potencia del campo electromagnético emitido por el lector

Para que este sistema funcione, el lector emite una potencia, de la cual parte llega al receptor y es reflejada. Con el fin de transmitir datos, una resistencia se conecta en paralelo con la antena y se enciende y se apaga dependiendo del flujo de datos, de tal manera que la potencia reflejada lleva la información a transmitir. La amplitud de señal se puede modular, así que cuando llegue al receptor se podrá separar usando un acoplador direccional para su lectura.

### ***3.2.5.2.1.3.-Cierre de acoplamiento***

Estos sistemas están diseñados para rangos de entre 0,1 cm y un máximo de 1 cm, de tal manera que el transpondedor o se introduce en el lector o se coloca encima de una superficie marcada (touch & go).

La distribución de la bobina de la bobina del transpondedor y la del lector corresponde con la de un transformador, el lector representa el bobinado primario y la bobina del transpondedor el devanado secundario. De tal manera que una alta frecuencia de corriente alterna en el devanado primario genera el campo magnético de alta frecuencia en el núcleo y en el espacio de aire intermedio, que fluirá a través de la bobina del transpondedor.

Debido a que la tensión inducida en la bobina del transpondedor es proporcional a la frecuencia de la corriente de excitación, la frecuencia seleccionada debe ser tan alta como sea posible. En la práctica, estas frecuencias se encuentran en el rango de entre 1 y 10 MHz.

A diferencia de otros sistemas como el de acoplado por inducción o los sistemas de microondas, la eficiencia de transferencia de potencia de lector a transpondedor es muy buena, por eso estos sistemas son muy adecuados para su uso con chips de alto consumo.

En este caso también se utiliza la modulación de carga magnética para la transmisión de datos.

### ***3.2.5.2.1.4.-Acoplamiento eléctrico***

En los sistemas de acoplamiento eléctrico, el lector genera un fuerte campo eléctrico. Su antena consiste en una gran zona eléctricamente conductora (electrodo), por lo general un papel de aluminio o una placa de metal. Si a esta antena se le aplica un voltaje de alta frecuencia, se generara un campo eléctrico de alta frecuencia entre el electrodo y la tierra. El voltaje necesario para esto, que oscila entre unos pocos de cientos de voltios y unos cuantos miles, se generan en el lector por el aumento del voltaje en un circuito resonante formado por una bobina en el lector, además de la conexión en paralelo de un condensador interno y la capacitancia activa entre el electrodo el potencial de la tierra.

Si el transpondedor se ubica en el campo eléctrico del lector, entonces surge una tensión eléctrica entre los dos electrodos que se utiliza para suministrar energía a los chips del transpondedor.

Si un transpondedor de acoplamiento eléctrico se coloca en la zona de interrogación de un lector, la resistencia de entrada del transpondedor actúa sobre el circuito de resonancia del lector mediante el acoplamiento de la capacitancia entre el lector y los electrodos del transpondedor, modificando el amortiguamiento del circuito resonante ligeramente. El amortiguamiento se puede cambiar entre dos valores, apagando o encendiendo la resistencia de modulación, lo que genera una modulación de amplitud de la tensión presente en el condensador y bobina del lector. Si este apagado y encendido se hace usando los datos, estos datos se pueden transmitir al lector, esto toma el nombre de modulación de carga.

### 3.2.5.2.2.-Sistemas secuenciales

Si la transmisión de datos y la potencia del lector para el soporte de datos se alterna con la transferencia de datos del transpondedor al lector, entonces hablamos de un procedimiento secuencial (SEQ).

#### 2.2.5.2.2.1.-Acoplamiento inductivo

Estos sistemas se utilizan exclusivamente en las frecuencias por debajo de 135 KHz. Se genera un acoplamiento tipo transformador entre la bobina del lector y la bobina del transpondedor y la tensión inducida generada en la bobina del transpondedor por el efecto del campo alterno del lector, se rectifica y se puede utilizar como fuente de alimentación.

Con el fin de lograr una mayor eficiencia de transferencia de datos, la frecuencia del transpondedor debe ajustarse con precisión a la del lector y la calidad de la bobina debe ser cuidadosamente especificada. Por esta razón, el transpondedor contiene un condensador de recorte en el chip para compensar las tolerancias de frecuencias de resonancia de fabricación.

A diferencia de los sistemas full y half duplex, los sistemas secuenciales la transmisión del lector no funciona de forma continua. La energía transferida por el transmisor durante la transmisión carga un condensador de carga para proporcionar una energía de reserva. El chip transmisor se pone en modo stan-by mientras dura la operación de carga, de tal forma que casi toda la energía recibida se utiliza para cargar el condensador. Después de un periodo fijo de carga del transpondedor el emisor se apaga de nuevo.



Figura 3.25.Tag de acoplamiento inductivo

Así, los sistemas secuenciales constan de dos etapas en un ciclo de lectura, la fase de carga y la fase de lectura. El final de fase de carga es detectado por un detector que monitoriza la evolución de la tensión en la bobina del transpondedor y reconoce el momento en el que el campo de lectura está apagado. Cuando la fase de carga acaba, se activa un oscilador en chip y la bobina del transpondedor genera un débil campo magnético que el lector es capaz de detectar.

La frecuencia de transmisión del transpondedor se corresponde con la frecuencia de resonancia de la bobina del transpondedor, que se ajusta a la frecuencia de transmisión del lector.

Con el fin de modular la señal de alta frecuencia generada en ausencia de una fuente de alimentación, un condensador de modulación adicional se conecta en paralelo con el circuito de resonancia con el flujo de datos. Esto proporciona una modulación FSK.

Una vez que los datos han sido transmitidos, el modo de descarga se activa para descargar completamente la resistencia de carga. Esto garantiza un inicio seguro en el siguiente ciclo de carga.

### ***3.2.5.2.2.2.-Onda acústica de superficie (SAW)***

Los dispositivos de onda acústica de superficie se basan en el efecto piezoeléctrico y en la dispersión de la superficie de las ondas elásticas de baja velocidad. Si un cristal se deforma elásticamente en una dirección determinada, se producen cargas superficiales, dando lugar a tensiones eléctricas en el cristal. Por el contrario, la aplicación de una carga de superficie a un cristal da lugar a una deformación elástica en la cuadrícula del cristal.

Estos dispositivos operan en frecuencias de microondas, normalmente en el rango ISM de 2,45GHz.

Los transductores electroacústicos (transductor interdigital) y los reflectores, se pueden crear utilizando las estructuras de electrodos plana sobre sustratos piezoeléctricos. Una de estas estructuras se coloca en el extremo de un sustrato piezoeléctrico largo y se adjunta a su barra una antena de dipolo adecuada para la frecuencia de funcionamiento.

Un impulso eléctrico aplicado a la barra provoca una deformación mecánica de la superficie del sustrato, debido al efecto piezoeléctrico de los electrodos que se dispersa

en todas direcciones en forma de onda. Se colocan electrodos individuales a lo largo de todo el transpondedor y sus bordes forman una banda reflectante que reflejan una pequeña proporción de la superficie de las ondas entrantes.

Un pulso de alta frecuencia de barrido generado por un lector se suministra desde la antena dipolo del transpondedor en el transductor interdigital y se convierte así en una onda acústica de superficie, que fluye a través del sustrato en la dirección longitudinal. La frecuencia de la onda de superficie se corresponde con la frecuencia portadora del pulso de muestreo y esta se corresponde con la frecuencia de transmisión del pulso de muestreo.

Parte de la onda de superficie se refleja en cada una de las bandas reflectantes que se distribuyen en todo el sustrato, mientras que el resto de la onda continúa hasta el final de sustrato y se absorbe.

Las partes reflejadas de la onda vuelven al transductor interdigital, donde se convierten en una secuencia de pulsos de alta frecuencia para ser emitidos por la antena dipolo y se puedan recibir por un lector. El número de impulsos recibidos corresponde con el número de bandas reflectantes en sustrato y el retraso entre pulsos individuales es proporcional a la distancia espacial entre las tiras del reflector sobre el sustrato, por lo que la disposición espacial de estas se puede interpretar como una secuencia binaria de dígitos.

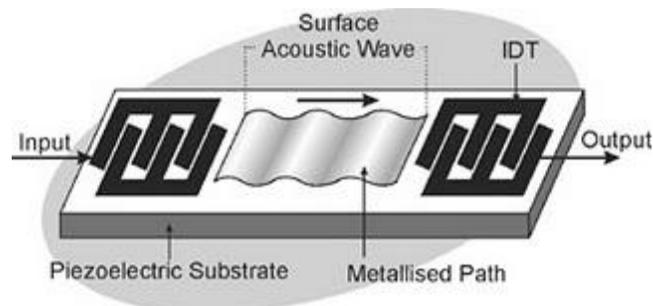


Figura 3.26. Estructura de un tag SAW

Gracias a la lenta dispersión de las ondas de superficie en el sustrato, el lector recibe la primera respuesta del pulso después de un tiempo muerto de alrededor de 1,5mseg después de la transmisión del impulso. Esto ofrece grandes ventajas para la recepción del pulso.

La capacidad de almacenamiento de datos y la transferencia de estos a alta velocidad dependerá del tamaño del sustrato y la distancia mínima entre las tiras. En la práctica se transmiten alrededor de 16-32 bits a una velocidad de 500 kbit/s.

El rango de este sistema depende principalmente de la potencia de transmisión del impulso de barrido. En una transmisión a una potencia permitida en la frecuencia de 2,45GHz, se puede esperar un rango de entre 1 y 2 metros.

### 3.2.5.-Lectores

Un lector o interrogador RFID es el dispositivo que proporciona energía a las etiquetas, lee los datos que la etiqueta envía y los envía al sistema de información o base de datos. Además también se encarga de gestionar la secuencia de comunicaciones con el lector.



Figura 3.27. Lectores RFID

Para llevar a cabo estas funciones el lector tiene que estar equipado con un módulo de radiofrecuencia, una unidad de control y una antena. Además ha de incorporar un interfaz a un PC, host o controlador a través de un enlace local o remoto, Ethernet, WLAN (Bluetooth, Wifi, RS232, etc.), RS232, RS485 para que la información pueda ser enviada a la base de datos.

Dependiendo de las necesidades, se presentan tres formas de funcionamiento en lectores RFID.

- a) El lector interroga su zona de cobertura continuamente, es decir, emite un campo electromagnético de forma constante. Este modo de trabajo se utiliza cuando se espera que múltiples etiquetas pasen de forma continua por la zona de cobertura.

- b) El lector interroga la zona de cobertura periódicamente en busca de nuevos dispositivos RFID.
- c) El lector interroga la zona de cobertura de forma puntual, solo cuando debe hacerlo. Este procedimiento se puede llevar a cabo cuando algún otro dispositivo detecta la presencia de una etiqueta, por ejemplo haciendo uso de un sensor.

Hay que decir que ninguno de estos modos de lectura se puede catalogar en términos de más eficaz o mejor, ya que cada uno de ellos se puede amoldar a una situación, por ejemplo, en una tienda en el que esta implantado el sistema EAS, es necesario que el lector este constantemente interrogando para detectar si alguna etiqueta pasa por el arco de seguridad, seria ineficaz aplicar el segundo modo de funcionamiento en estas circunstancias.

El número de etiquetas que es capaz de leer un lector en un segundo depende exclusivamente de la frecuencia de trabajo y del protocolo utilizado, de esta manera, mientras que en la banda de alta frecuencia es capaz de leer 50 tags por segundo, en la banda de ultra alta frecuencia es capaz de leer 200 en ese espacio de tiempo.

A continuación se describen las diferentes partes de un lector previamente mencionadas.

### *3.2.5.1 Modulo de radiofrecuencia*

El modulo de radiofrecuencia es la parte de encargada de generar la señal de radiofrecuencia y recibir la que el tag envía con los datos. Por lo tanto se compone básicamente de un emisor para generar esta señal y un receptor para recibir los datos.

Por lo tanto, sus funciones básicas consisten por un lado en generar la señal de radiofrecuencia que alimentara la etiqueta y hará que esta envíe los datos. Por otro lado modulara la transmisión de la señal para poder enviar los datos oportunos al transpondedor y por ultimo recibirá y demodulara las señales que envía el transpondedor.

### *3.2.5.2 Unidad de control*

La unidad de control está constituida por un microprocesador que en ocasiones esta acompañado por un circuito integrado ASIC (Application Specific Integrated Circuit) que se adapta a los requerimientos deseados con el fin de quitarle ciertos cálculos al microprocesador. Los circuitos integrados ASIC son circuitos hechos a medida para un

uso particular en lugar de haber sido hechos para darle un uso general, de tal manera que ese circuito solo se encontrara en un modelo y no en una amplia gama de productos.

La labor de esta unidad es en primer lugar codificar y decodificar los datos procedentes de las etiquetas y verificar la integridad de los datos almacenados. En segundo lugar gestionar el acceso al medio, lo que supone activar la etiquetas, inicializar la sesión, autenticar y autorizar la transmisión detectar y corregir errores, gestionar el proceso de multilectura, cifrar datos, etc.

Por ultimo tendrá que comunicarse con la base de datos, ejecutando las órdenes recibidas y transmitiendo la información proporcionada por las etiquetas.

Gestionar el acceso al medio es sin duda la labor más delicada que lleva a cabo la unidad de control, ya que usar una tecnología que no requiere contacto físico para la transmisión de información, implica una vulnerabilidad a las interferencias que puede hacer que surjan cambios indeseados en los datos transmitidos y por lo tanto errores en la transmisión. Para controlar esto se usan ciertos procedimientos basados en la comprobación de bits de paridad, la comprobación de redundancia longitudinal (LRC) y la comprobación de redundancia cíclica (CRC).

### *3.2.5.3 Antena emisora*

La antena es el elemento que habilita la comunicación entre el lector y transpondedor y es el componente más sensible de un sistema RFID. La antena debe estar colocada en una posición adecuada, de tal manera que tanto la transmisión de energía hacia la etiqueta, como la recepción de los datos emitidos sean óptimos.

Además, debido a que existen regulaciones gubernamentales que limitan el nivel de potencia de un lector, la ubicación de las antenas es algo fundamental para alcanzar un alto grado de lectura.

Hay tres características de las antenas que contribuyen a la legibilidad de la etiqueta:[2]

- a) **Patrón**: Se refiere al campo de energía tridimensional creada por la antena. Esto es también conocido como el área de lectura.
- b) **Ganancia y atenuación**: La ganancia de la antena de un lector es fijada en relación a las regulaciones gubernamentales. No obstante, la señal puede

reducirse o atenuarse para limitar el rango de lectura de la etiqueta o para dirigirla solo a etiquetas que uno desee leer.

- c) **Polarización**: Se refiere a la orientación de la transmisión del campo electromagnético.

La elección de la antena se hace basándose en la frecuencia y la aplicación específica y la mayoría de ellas se engloban en las siguientes categorías:

- a) **Antenas ortogonales**: Un ejemplo típico de estas antenas son las antenas de puerta que se usan en el sistema EAS. Estas antenas dependen mucho menos de la polarización y de la orientación de la antena que otros tipos, aunque estas suelen ser más grande y caras.
- b) **Antenas polarizadas circularmente**: La polarización circular es creada por una antena diseñada para irradiar energía RF en diferentes direcciones simultáneamente. Esta ofrece mayor tolerancia a distintas orientaciones de la etiqueta y una mejor habilidad para evitar obstrucciones, aunque esto implica la reducción del tango del foco de lectura.



Figura 3.28. Antena ortogonal



Figura 3.29. Antena polarizada circularmente

- c) **Antenas polarizadas linealmente**: En general las antenas lineales proveen un rango de lectura más extenso, pero son más sensibles a la orientación de la etiqueta. Habitualmente se utilizan en aplicaciones de lectura automática montadas sobre una cinta transportadora, donde se encuentran los embases con sus correspondientes etiquetas que mantienen una orientación constante para optimizar al máximo su legibilidad.
- d) **Antenas omnidireccionales**: Estas antenas idealmente radian y captan las señales de radiofrecuencia de la misma forma en todas direcciones. Esto

supone una ventaja, ya que no hay que direccionar la antena a ninguna zona concreta.



Figura 3.31. Antena polarizada linealmente



Figura 3.30. Antena omnidireccional

Las antenas UHF se encuentran generalmente montadas o conectadas de forma externa a través de cables coaxiales y una o más antenas se pueden conectar a un lector, dependiendo de cómo queramos trabajar con el.

Otro de los aspectos importantes a la hora de elegir una antena es el área de cobertura que requiere esa aplicación, de tal manera que tiene que ser lo suficientemente grande como para detectar las etiquetas, pero lo suficientemente pequeñas como para evitar lecturas no válidas.

Para dotar al sistema de una cobertura adecuada hay ciertas cosas a tener en cuenta, en primer lugar la orientación de la antena del lector con respecto a la etiqueta, que influye significativamente en la cantidad de potencia transferida al tag. Aunque en principio las etiquetas pueden ser leídas en todas las orientaciones, generalmente el campo producido la antena tiene una dirección determinada, algo que afecta especialmente en AF y UHF.

Esto puede dificultar la lectura, llegando incluso a imposibilitarla, por eso es importante buscar el acoplamiento óptimo entre ambas y en caso de que no se pueda controlar la posición de la etiqueta, compensarlo diseñando adecuadamente la antena.

La pérdida de sintonía o la debilitación de la señal puede ocurrir por los siguientes factores:

- a) Pérdidas debido a la proximidad de metales o líquidos
- b) Pérdida del cableado de la antena
- c) Pérdida de señal

- d) Proximidad con otros lectores/antenas
- e) Variaciones ambientales
- f) Interferencia desde otras fuentes RF
- g) Campos de corriente
- h) Refracción de la señal
- i) Diálogos cruzados

Algunos de estos efectos se pueden compensar a través de la sintonía dinámica, introduciendo circuitos en el lector que trabajan con retroalimentación de la antena o circuitos dinámicos autosintonizadores.

### 3.2.6.-Programadores RFID

Los programadores RFID son los dispositivos que realizan la escritura de información sobre la etiqueta RFID, es decir, codifican la información en un microchip situado dentro de una etiqueta RFID. La programación de las etiquetas se realiza una única vez si las etiquetas son de sólo lectura, o varias veces si son de lectura/escritura.



Figura 3.32. Programadores RFID

Está claro que los programadores solo serán útiles con los transpondedores de n-bits, ya que los de 1-bit no hacen uso de ningún microchip programable y se basan en fenómenos naturales.

La potencia que necesita el programador para escribir la información en las etiquetas es mayor que la que necesita el lector ya que el radio de acción de un equipo

grabador es inferior al de un lector. Por esta razón en la mayoría de las ocasiones, el programador necesita contacto directo con las etiquetas.

En ocasiones la reprogramación se puede llevar a cabo “en línea”, lo que significa que se reprograma la etiqueta cuando esta está sobre el artículo a identificar. Esto es especialmente interesante si la información contenida dentro de la etiqueta varía en el proceso de producción.

Quitar la etiqueta del artículo para escribir en ella la nueva información reduciría de manera significativa la flexibilidad que ofrece esta tecnología, por lo que combinar las funciones de un programador con las de un lector resulta muy útil para cambiar los datos que guarda el transpondedor sin ralentizar la producción.

### 3.2.7.-Middleware

El middleware se podría definir como el software del lector RFID, es la plataforma existente entre los lectores y los sistemas de gestión empresariales para trabajar, controlar y enviar datos adquiridos por el hardware RFID.

El middleware tiene muchas funcionalidades y cada desarrollador le añade características y funciones que le otorga una identidad propia a cada uno de ellos, por eso, a continuación se muestran las funcionalidades de forma genérica:

- a) **Gestión de dispositivos:** La mayoría de los middleware pueden controlar cualquier tipo de hardware como lectores, tags, sensores, impresoras o dispositivos tipo actuadores. Puede controlar tanto el estado de salud del lector como su funcionamiento y alertar al administrador de cualquier tipo de anomalía.

También pueden incorporar una función para que responda ante el mal funcionamiento activando por ejemplo un segundo lector. Por último también puede ser capaz de actualizar los dispositivos que se le indique.

- b) **Procesamiento de datos:** La función de lector RFID es la recogida de un gran volumen de datos de forma automática que ofrecen información de lo que está sucediendo. Este proceso lleva implícita la posibilidad de la duplicidad de datos que puede producir una sobrecarga del sistema lo que conlleva la ralentización del sistema de gestión empresarial.

Además el Middleware es capaz de darle importancia a la información que recibe, configurando alertas según esta, por ejemplo alertando de que un producto está a punto de perecer.

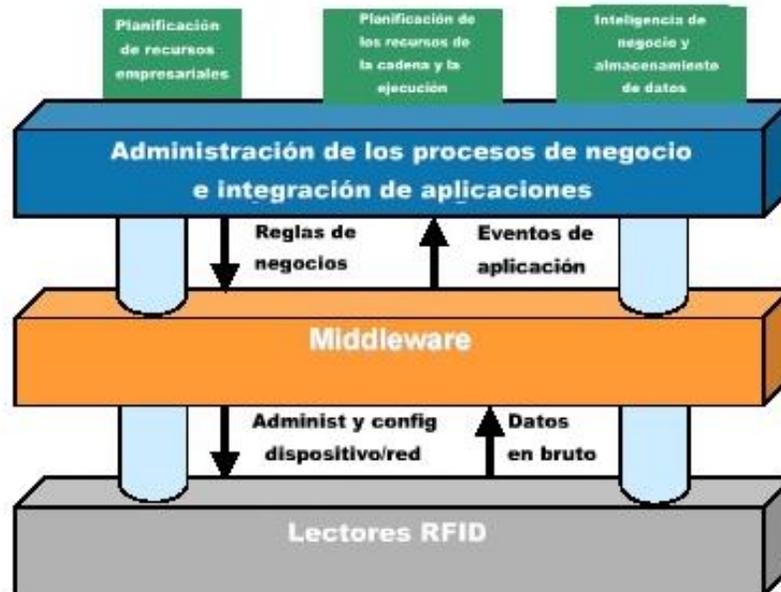


Figura 3.33. Función de Middleware en los sistemas RFID

Para facilitar el filtrado de datos EPCglobal ha configurado una especificación de interfaz de middleware llamada ALE (Application Level Events), que la mayoría de proveedores de middleware usan.

En lo que se refiere a la arquitectura del middleware se diferencian dos grandes bloques, el primero de ellos Edge Server (ubicación local) y el segundo Enterprise Server (Ubicación central). La primera es la infraestructura situada a nivel local donde se conectan los dispositivos RFID y la segunda se sitúa donde la empresa centraliza sus aplicaciones. Los múltiples Edge servers se conectarían al Enterprise Server que es la encargada de centralizar toda la información.

Por lo tanto, su funcionamiento sería el siguiente: En primer lugar el lector lee un tag y envía la información al Edge Server, quien verifica y filtra los datos por si es una lectura fantasma o simplemente están duplicados. Si son correctos, estos son enviados al Enterprise Server que registra los datos y en caso de que estos requieran una acción, transferirá la información necesaria para que el proceso empresarial se lleve a cabo.

Pero debida la gran evolución que está teniendo el RFID, el middleware también tiene que estar en constante evolución, por lo que se tiene que enfrentar a los siguientes retos:

- a) **Explosión de datos:** El sistema RFID puede ofrecer muchos más datos que los actuales, pero estos deben ser registrados y gestionados. Esto depende exclusivamente del nivel de gestión, ya que por ejemplo en lugar de identificar los productos por palets, se podrían identificar por cajas o incluso por productos, lo que elevaría de una forma muy significativa el número de datos a manipular por el sistema.
- b) **Interacción del mundo real con el informático:** La gestión del RFID muchas veces se produce en ubicaciones en las que no se producen los procesos operacionales de la empresa. Por eso es necesaria una interacción entre los dos mundos, de tal manera que si por un error humano, un palet es metido en un camión por error, el sistema sea capaz de detectarlo y avisar del problema.
- c) **Guardar los datos con significado:** El middleware debería dar sentido a los datos obtenidos en las lecturas RFID mediante el filtrado y la agregación de valor.
- d) **Distribución geográfica:** Los sistemas RFID pueden ir más allá que las tradicionales instalaciones informáticas al distribuirse geográficamente en múltiples ubicaciones.
- e) **Intercambio de datos:** Para obtener beneficios de negocio, las empresas deberán intercambiarse la información. Por ejemplo, un fabricante puede obtener una mejor visibilidad y ejecución de sus promociones si etiqueta sus productos, pero será más efectivo si el minorista comparte información con él.
- f) **Extensión e innovación:** El impacto futuro de la tecnología es muy diferente a las actuales aplicaciones que hoy demandan las empresas pioneras en RFID, por eso es importante que el middleware se anticipe a las futuras necesidades y que independice la arquitectura a cambios de usos o tecnologías.

### 3.2.8.-EPC

El EPC o Código electrónico de Producto (Electronic Product Code) fue creado por la organización EPCGlobal, un consorcio formado por EAN International (European Article Numbering).

Lo que pretendía EPCGlobal al crear el EPC era promover EPCGlobal Network, un concepto que pretende cambiar la actual cadena de suministros por otra con un estándar abierto y global, que permita la identificación en tiempo real de cualquier

producto, en cualquier empresa de cualquier parte del mundo. La EPCGlobal Network fue desarrollada por Auto-Id Center.

Con este fin EPCglobal propone varios estándares para el middleware:

- a) **Rades protocol**: Estándar joven que pretende tener una base común de comunicación para todos los lectores que firmen EPCglobal compliant
- b) **Agent Manager** : Gestión y notificación de los eventos RFID/EPC
- c) **Information Server**: Repositorio propietario para cada empresa y acceso público donde existe la información de cada EPC leído.
- d) **ONS (Object Name Server)**: Repositorio local donde estará almacenada la ruta para buscar la información respecto a un EPC leído.

Además también define el sistema EPC, un grupo de tecnologías que permite la identificación automática de los objetos que viajan a través de la cadena de abastecimiento. Se conforma de los siguientes cinco elementos

- 1.-Codigo EPC: número único que identifica el objeto
- 2.-Tags y lectores RFID: Dispositivo de almacenamiento y lectura del EPC
- 3.-Midleware: El software ya mencionado previamente
- 4.-Servidor ONS: Servicio de red automático que permite que un ordenador pueda acceder a un sitio www
- 5.-Servidor EPICS: Servidor para almacenar información adicional de los objetos.

Como ya se ha definido, el código EPC es el número único que identifica un objeto o producto y su estructura es similar a la estructura del código EAN-13, el que se usa en los códigos de barras. Al igual que este, está formado por un identificador de cabecera, un código de empresa y un código de producto, pero con un numerador adicional para que dos productos del mismo género tengan un identificador distinto, por lo que pueden ser identificados en cualquier lugar del mundo de forma inequívoca.

Otra característica de este código es que se compone de números y letras, haciendo uso de la numeración hexadecimal, por lo que la combinación de números se multiplica de forma exponencial.

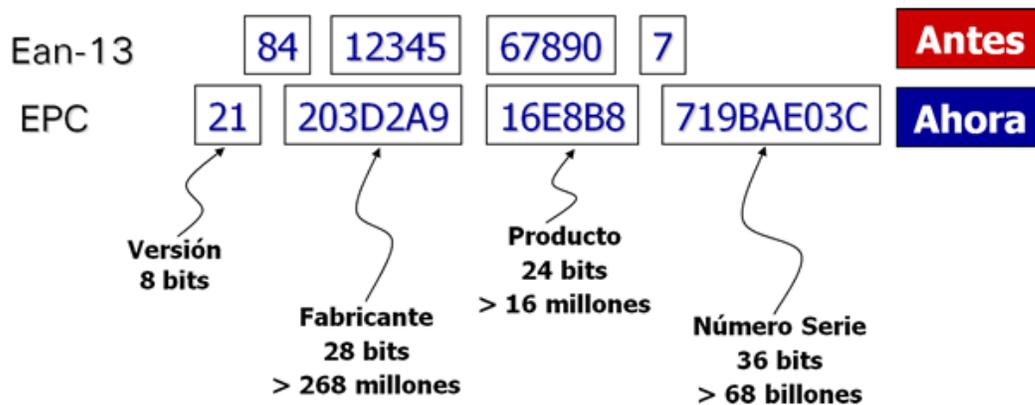


Figura 3.34. Comparación de la información que guarda un sistema RFID y un sistema de código de barras

En 2005 EPCglobal publico las especificaciones de la última versión de EPC, el EPC Generación 2.

### 3.2.8.1.-EPCglobal Generación 2

La característica más importante de esta actualización es la compatibilidad mundial de este protocolo en banda UHF. Además permite leer 1500 tag/s en Norteamérica y 600 tag/s en Europa.

Además ofrece un control de privacidad y acceso integrado, que consiste principalmente en que el reader no transmite el EPC, existen funciones de deshabilitación de tags y se puede proteger el tag mediante una contraseña.

Otra función interesante es que permite la selección de tags, es decir, se pueden seleccionar tags como si se estuviera accediendo a una base de datos. Esto supone que si tengo una producción de millones de objetos, y solo quiero seleccionar una parte, podre ordenar al lector que solo seleccione ese tag.

El funcionamiento del sistema es el típico protocolo half dúplex. El reader envía una señal de radiofrecuencia para preguntar información de los tags que se encuentran a su alrededor, El tag recibe la señal y la utiliza para alimentarse y para enviar la información modulada y el receptor adquiere la señal reflejada y la demodula.

Para poder identificar las etiquetas que se encuentran dentro del radio de acción del lector existen tres operaciones básicas:

- 1) Select: Esta operación permite al lector poder ver que población de tags hay disponibles en su rango de acción.

- 2) **Inventario:** Es la operación que permite identificar las etiquetas. El proceso se inicia cuando el lector manda un comando Quey al que uno o mas tags responden. El lector detecta una única respuesta de un tag y lo interroga para que le proporcione el código PC (Protocol Control), el código EPC y el CRC-16.
- 3) **Acceso:** El proceso de acceso comprende varias operaciones de comunicación con la etiqueta. Una única etiqueta debe ser identificada antes de iniciar el proceso de acceso a la misma.

### 3.2.9.-Bandas de frecuencia RFID

Aunque ya se han hecho muchas alusiones a las bandas de frecuencia en las que trabaja el sistema RFID, a continuación se dará una explicación más detallada de este tema.[2]

Resulta obvio que al configurar un sistema de RFID tanto el lector como el tag tienen que trabajar a la misma frecuencia porque sino su comunicación sería inviable, por eso es importante tener claro a que frecuencias trabaja el sistema RFID y cada tag.

Como ya se ha mencionado previamente, las frecuencias disponibles se dividen en nueve bandas de frecuencia diferente. De esta manera, el sistema se define en tres rangos de frecuencia diferentes, frecuencias bajas (Low Frecuency o LF), frecuencias altas (High Frecuency o HF), frecuencias ultra altas (Ultra High Frecuency o UHF) y microondas.

Los sistemas RFID trabajan en bandas libres exceptuando los de frecuencia baja, que al ser inferior a 133 KHz no es libre, pero su utilización está permitida porque utilizan el campo magnético para operar que no interfiere con ningún otro dispositivo.

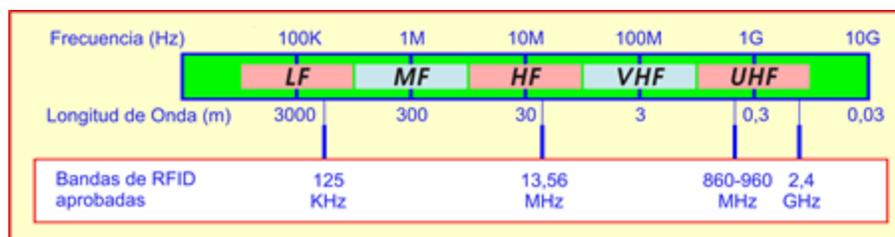


Figura 3.35. Bandas de frecuencia y las frecuencias que utiliza el sistema RFID

### *3.2.9.1.-Sistemas de baja frecuencia (LF)*

Estas etiquetas trabajan a frecuencias inferiores a 135 KHz y para su funcionamiento hacen uso del acoplamiento inductivo. Generalmente las frecuencias bajas implican una tasa de transferencia de datos baja, en este caso se sitúan entre 200bps y 1 kps.

Las etiquetas pasivas suelen tener una cobertura pequeña que alcanza como mucho los 0,5 metros, las etiquetas pasivas en cambio pueden llegar a los dos metros. Estos campos magnéticos tan pequeños son debidos a que el sistema es inductivo y por lo tanto trabaja con campos magnéticos. Este decrece rápidamente con la distancia y con las dimensiones de la antena.

Aunque esto no tiene porque ser una desventaja, ya que resulta idóneo cuando la aplicación requiere de zonas de cobertura limitadas a un área pequeña.

En lo que al coste se refiere, las etiquetas de estos sistemas son más caras que las de otros sistemas de frecuencias más elevadas, por los componentes que se utilizan en su fabricación. Aunque por otro lado la construcción del chip y el encapsulado es más barato y además los lectores y programadores son simples lo que implica un coste de fabricación menor.

### *3.2.9.2.-Sistemas de alta frecuencia (HF)*

Estos sistemas pueden trabajar en la frecuencia de 6,78MHz, 13,56MHz, 27,125MHz y 40,68MHz. En este caso también se basan principalmente en el acoplamiento para funcionar.

En lo que a capacidad se refiere, oscilan entre los 512 bits y los 8 kbits y la velocidad de transmisión de datos es de unos 25Kbps, aunque existen dispositivos con tasas de 100Kbps. Estos sistemas RFID son capaces de leer 40 etiquetas aproximadamente.

Estos sistemas poseen una buena penetración en materiales y líquidos no conductores, aunque no funcionan cuando están cerca de materiales metálicos por las reflexiones que estos pueden producir.

Otro de los problemas que muestran los sistemas que trabajan a estas frecuencias es la orientación de la etiqueta según aumenta la distancia. Esto es debido a las características vectoriales de la antena y se puede solucionar usando antenas de transmisión más complejas.

### *3.2.9.3.-Sistemas de ultra alta frecuencia (UHF)*

Estos sistemas pueden trabajar a 433MHz, 860MHz o 928 MHz y a diferencia de los de alta y baja frecuencia, estos basan su funcionamiento en la propagación de ondas electromagnéticas o dicho de otra manera, en el acoplamiento capacitivo.

Las capacidades de este sistema van desde los 32 bits hasta los 4 Kbits tanto para etiquetas activas como para etiquetas pasivas. La velocidad de transferencia de datos es de unos 28 Kbps, aunque se pueden alcanzar velocidades mayores y permiten la lectura de unas 100 etiquetas por segundo.

El tipo de etiqueta influye en las distancias que puede alcanzar el sistema, de tal manera que trabajando con etiquetas pasivas la distancia máxima alcanzable es de unos tres o cuatro metros y haciendo uso de etiquetas activas a la frecuencia más baja de esta banda, se pueden alcanzar los diez metros.

Posee una buena penetración tanto en materiales conductores como no conductores, aunque muestra problemas con los líquidos. Una desventaja es que otros sistemas trabajan en la frecuencia de UHF (Por ejemplo la televisión) y esto puede generar interferencias.

Los costes dependen de la forma que adquieran los transpondedores, aunque estos tags fabricados en grandes cantidades pueden llegar a ser más baratos que los que trabajan a frecuencias más bajas.

### *3.2.9.4.-Sistemas de microondas*

Estos sistemas trabajan a la frecuencia de 2,5 GHz y trabaja a velocidades elevadas, típicamente por debajo de los 100 kbps, aunque algunos dispositivos pueden alcanzar 1 Mbps de velocidad de transmisión. En lo que a capacidad se refiere, suelen tener una capacidad mínima de 128 bits y una máxima de 512 Kbits.

Su rango de trabajo es bastante amplio, los dispositivos pasivos son capaces de transmitir información entre 1 y 2 metros y los dispositivos activos pasan los 15 metros.

Este sistema posee una buena penetración en materiales no conductores, a diferencia de en los líquidos, donde el coeficiente de absorción juega un gran papel. Por otro lado en los metales y otras superficies conductoras se refleja. Además tiene el inconveniente de trabajar en una banda compartida.

Se puede considerar que este sistema es apto para aplicaciones que necesitan de una alta cobertura y de velocidades de transmisión elevadas.

### *3.2.9.5.-Usos del RFID*

El uso del RFID está muy extendido en diferentes sectores y muestra un sinfín de posibilidades. Dependiendo de la frecuencia a la que trabaje el dispositivo RFID se usara de una forma u otra, ya que el hecho de trabajar en frecuencias bajas implica un rango de trabajo inferior. Los de frecuencias más elevadas proporcionan una mayor distancia de trabajo además de una velocidad superior. Por eso, es importante definir bien las necesidades de la actividad para elegir el sistema RFID que mejor se le ajuste.

Las etiquetas de baja frecuencia se usan por ejemplo para la identificación de animales, seguimiento de barricas de cerveza, dinero electrónico o como llave de automóviles con sistema antirrobo.

Las etiquetas de alta frecuencia sin embargo, se usan para el seguimiento de libros en bibliotecas, seguimientos de pallet, control de acceso a edificios, seguimiento de pacientes, etc.

## 3.3.-Métodos empíricos de predicción de propagación

Los procedimientos empíricos de estimación de la pérdida básica de propagación y de la intensidad de campo se fundamentan en amplias campañas de mediciones y en una posterior correlación de las medidas con características generales descriptivas del medio de propagación.

Estos métodos proporcionan estimaciones rápidas de la pérdida básica de propagación o de la intensidad de campo en cualquier punto en torno a un transmisor. Su uso es rápido y fácil, lo que conlleva un nivel de exactitud no muy elevado, el resultado favorable depende de la similitud entre en el entorno donde se hicieron las medidas y el entorno a analizar.

A continuación se presentan los modelos empíricos utilizados para caracterizar las salas y poder comparar sus resultados con los resultados obtenidos en sendas medidas experimentales.

### 3.3.1.-Espacio libre

El cálculo de potencia mediante este modelo es útil cuando entre el emisor y receptor hay una línea de visión directa y como la mayoría de los modelos de propagación, predice que el decaimiento de la potencia recibida se da en función de la distancia entre emisor y receptor.[1]

La potencia que recibe en el espacio libre una antena receptora separada por una distancia  $d$  de la antena emisora viene dada por la ecuación de Friis:

$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2 L}$$

Donde:

$P_r(d)$ =Potencia recibida (en función de la separación transmisor-receptor)

$P_t$ =Potencia transmitida

$G_t$ =Ganancia de antena transmisora

$G_r$ =Ganancia de la antena receptora

$\lambda$ =Longitud de onda en metros

**d=Distancia de separación transmisor-receptor en metros**

**L=Pérdidas del sistema no achacables a la propagación**

**La ganancia de la antena está dada por la siguiente ecuación:**

$$G = \frac{(4\pi)^2 A_e}{\lambda^2}$$

**$A_e$ , la apertura efectiva, está relacionada con el tamaño físico de la antena y con la frecuencia de la portadora:**

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{2\pi c}{\omega_c}$$

**Donde:**

**f= Frecuencia de la portadora en Hz**

**$\omega_c$ =Frecuencia de la portadora dada en radianes por segundo**

**c=velocidad de la luz en m/s**

**Las pérdidas por trayectoria son la atenuación de una señal medida en dB y es la diferencia entre la potencia radiada efectiva y la potencia recibida. Se puede incluir el efecto de la ganancia y se calcula mediante las siguientes fórmulas**

**Incluyendo el efecto de ganancia:**

$$PL = 10 \log \left( \frac{P_t}{P_r} \right) = -10 \log \left( \frac{G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2} \right)$$

**Excluyendo la ganancia y asumiendo que es unitaria:**

$$PL = 10 \log \left( \frac{P_t}{P_r} \right) = -10 \log \left( \frac{\lambda^2}{(4\pi)^2 d^2} \right)$$

**Según la ecuación de Friis, la potencia de la señal recibida se atenúa con el cuadrado de la distancia entre emisor y receptor, de tal manera que decae 20 dB/década. Así, si se conoce la potencia recibida a una distancia de referencia  $d_0$ , la potencia recibida se puede calcular mediante la siguiente ecuación:**

$$P_r(d) = P_r(d_0) + 20 \log(d_0 / d)$$

### 3.3.2.-Cost 231

El método cost 231 se basa en los de Ikegami-Ioshida y Walfish-Bertoni y es eficaz para cálculos de radiopropagación en entornos interiores, ya que tiene en cuenta las pérdidas de propagación tanto en espacio abierto como la introducidas por suelos paredes y techos que se encuentran en el trayecto directo entre transmisor y receptor

La formula mediante la cual se lleva a cabo el cálculo es la siguiente[9]:

$$L = L_{FS} + L_C + \sum K_{wi} + L_{wi} + n^{\left(\frac{n+2}{n+1}-b\right)} \cdot L_f$$

Donde:

$L_{FS}$ = pérdida en espacio libre entre transmisor y receptor

$L_C$ =constante de perdida

$K_{wi}$ =número de paredes de tipo i penetradas

$n$ = número de suelos penetrados

$L_{wi}$ =pérdida debida a muro tipo i

$L_f$ =pérdida entre suelos adyacentes

$b$ =parámetro empírico

NOTA:  $L_c$  se fija en 32,44dB

### 3.3.3.-ITU-RP 1238

La perdida de trayecto se caracteriza por una perdida trayecto media y las estadísticas asociadas de desvanecimiento debido a sombras. En este modelo se considera la pérdida a través de varios pisos, a fin de tener en cuenta características como la reutilización de frecuencias entre distintos pisos. Las pérdidas de transmisión a través de paredes, obstáculos (y por encima de ellos), así como otros factores de pérdida que puedan manifestarse en un piso de un edificio, se incluyen implícitamente cambiando el coeficiente de pérdida de potencia debida a la distancia(N)[10].

Este modelo se presenta de la siguiente manera:

$$L_{total} = 20 \log f + N \log d + L_f n - 28$$

Donde:

$N$ =Coeficiente de pérdida de potencia debida a la distancia

$f$ =frecuencia en MHz

**d=distancia de separación (m) entre la estación base y el terminal portátil (d>1m)**

**L<sub>f</sub>=Factor de pérdida de penetración en el suelo en dB**

**n=Número de pisos entre la estación base y el termina portátil (n≥1)**

### 3.3.4.-Linear Path attenuation model

Este modelo fue propuesto por Adelman para un transmisor y un receptor que se encuentran en la misma planta. La pérdida de trayecto se obtiene de las pérdidas de trayecto en espacio libre sumado a un factor lineal del rango obtenido experimentalmente. La formula es la siguiente[11]:

$$PL(d) = PL_{fs} + ad$$

**Donde:**

**PL<sub>fs</sub>=Perdidas de trayecto en espacio libre**

**a=Coefficiente de absorción lineal**

**d=Distancia entre transmisor y receptor**

Este modelo solo toma en consideración las pérdidas en espacio libre y es susceptible de adecuarse solo a un sitio, ya que el valor de “a” varía de un espacio a otro y ha de ser medido con precisión para que los resultados sean idóneos.

### 3.3.5.-Keenan-Motley

Este modelo se basa en la teoría y en las medidas hechas en la práctica. Este modelo mide las pérdidas de trayecto mediante la fuerza de la señal recibida y una distancia de referencia, por eso mismo hay que tener en cuenta las perdidas medidas a un metro de distancia. La formula de este modelo es la siguiente[12]:

$$PL_{KM}(d) = PL_M + 10nLog(d) + k_F PL_{FS}$$

**Donde:**

**PL<sub>M</sub>:Son las pérdidas de trayecto a 1 metro**

**PL<sub>FS</sub>:Son las pérdidas de trayecto en espacio libre (incluyendo pérdidas por penetración en suelos y techos**

**K<sub>F</sub>:Número de suelos y techos penetrados**

### 3.3.6.-Multi-Wall

El modelo multi-wall al igual que el de espacio libre se caracteriza por usar un exponente  $n=2$  sumándole factores de pérdida con relación al número de plantas y muros que se interponen en la visión directa entre emisor y receptor. La fórmula utilizada es la siguiente[1]:

$$PL = PL_1 + 20 \log(d) + n_f a_f + n_w a_w$$

Donde:

$PL_1$ =Pérdida de trayectoria con  $d=1$  metro

$d$ =Distancia en metros en línea recta

$n_f$ =Número de suelos atravesados

$a_f$ =Atenuación por cada suelo atravesado

$n_w$ =Número de muros atravesados

$a_w$ =Atenuación por cada muro atravesado

### 3.3.7.-Two Slope

El modelo Two Slope fue diseñado por Feuerstein y Beyer cuando observaron que las pérdidas por propagación se comportan de manera diferente a distancias cortas y a distancias largas.[1]

Para poder cuantificar este efecto, Two Slope trabaja con dos modelos de pérdidas por propagación, uno para distancias cortas y otro para distancias largas, de ahí el nombre que toma de “dos pendientes”. El primero tiene un rango corto y su índice de decaimiento y el segundo es en función del primero. Para diferenciar las dos zonas se introduce la distancia de ruptura.

Las formulas que se utilizan son las siguientes:

$$L_{DS1}(d) = 10\eta_1 \log\left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right) - a_0$$

$$L_{DS2}(d) = L_{DS2}(d_{BR}) + 10\eta_2 \log\left(\frac{d}{d_{BR}}\right)$$

Donde:

$d_{BR}$ =distancia de ruptura

$n_1$ =exponente de pérdidas de trayectoria antes de  $d_{BR}$  ( $L_{DS1}$ )

$n_2$ =exponente de pérdidas de trayectoria después de  $d_{BR}$  ( $L_{DS1}$ )

$a_0$ =diferencia entre LDS y LFS a la distancia de 1 metro. Varía entre 0 y 5 dB

En las regiones cercanas,  $n_1$  toma el valor de 2 y  $n_2$  toma el valor de 6 o mayor. Este modelo puede hacerse más específico gracias a los valores  $n_1$  y  $n_2$ . Además la distancia de ruptura ha de ser un valor que se conozca a la perfección ya que este juega un papel importante.

## 4. Metodología empleada

### 4.1.-Proceso de medida

Es importante hacer un proceso de medida correcto para poder compararlas con los resultados de la forma más precisa posible, para que la extrapolación de estos datos sea la adecuada. Si se cometen errores en este proceso, la validez de los modelos propuestos será cuestionable y nunca se podrán simular otras salas correctamente partiendo de ellos.

Para que esto sea así, siempre se han llevado a cabo ciertos pasos y precauciones. Empezando por la elección de escenario, ya que se ha intentado medir en salas cuyas características sean diferentes para poder comprobar si los modelos que puedan parecer correctos para unas, también lo son para otras y en definitiva poder comparar la efectividad de los métodos en entornos diferentes. Para que los cálculos sean lo más exactos posibles, hay que tener presentes todas estas características, tomando medidas de la sala y teniendo en cuenta los obstáculos que puedan influir en las mediciones.

En segunda instancia, tanto el montaje del material de medida como el trato de este ha sido lo más cuidadoso posible, para que no se produzcan medidas incorrectas por mal funcionamiento del equipo ni porque el uso de este no sea el correcto. Para ello, se han calibrado los instrumentos que lo necesitaran en cada medición como es el caso del analizador de espectros portátil. Además se ha procurado que la colocación de las antenas sea lo más correcta posible, haciendo que estas estén estáticas y con una inclinación correcta, mediante el uso de trípodes o cajas de cartón y evitando influencias externas que puedan modificar el diagrama de radiación. También se han tenido en cuenta las diferentes conexiones y empalmes, ya que estas producen pérdidas que luego se han de contemplar para que la simulación sea lo más real posible.

Por último, para la toma de medidas siempre se ha mantenido el emisor en un punto fijo y el receptor se ha desplazado por todo el recinto, siempre guardando constancia del punto exacto de la sala en el que se encuentra situado para luego poder compararlo de la manera más efectiva posible con los modelos. A la hora de tomar las medidas se han tomado ciertas precauciones, para que la presencia de las personas que se encargan de estas sea lo menor posible, por eso, nadie se ha interpuesto entre la antena emisora y receptora y el encargado de desplazarse por el recinto siempre se mantenía detrás de esta. Aunque es complicado que en ciertos recintos no hubiera influencia de ningún tipo, ya que alguno de ellos es de tránsito, por eso muchas medidas

se tenían que repetir o posponer unos segundos hasta que el sujeto interferente desapareciera del escenario.

## 4.2.-Escenarios medidos

Los escenarios medidos han sido tres, uno de ellos en un entorno real, es decir, el tipo de entorno en el que se podría hacer una simulación para luego montar un sistema real de RFID en el. Esta localización es la empresa Disayt que se encuentra situada en la Ciudad del Transporte de Pamplona. Los otros dos escenarios pertenecen a la Universidad Pública de Navarra, el primero de ellos es un pasillo, situado en el Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica y el segundo escenario es el pasillo principal del sario.

### 4.2.1.-Pasillo

Este pasillo corresponde a la primera planta del departamento y muestra unas condiciones muy diferentes a las de las otras dos localizaciones. En este caso es una estancia larga y estrecha y no hay ningún objeto que pueda alterar la dirección de la onda. Además se pueden apreciar dos pasillos, ambos a cada lado del pasillo principal, en los que las antenas pierden la visión directa, con lo que habrá que tenerlo en cuenta en los modelos empíricos.



Figura 4.1. Imágenes del pasillo y el hueco donde no hay visibilidad directa

Como se puede comprobar en la Figura 4.2 se han tomado dos puntos más, además del central en cada parte medida, para poder comprobar también si los modelos se acercan cuando las dos antenas no están frente a frente. En este esquema se muestra la antena con un punto rojo y los puntos de recepción con cruces azules.

Por último cabe destacar que la altura a la que se ha puesto el emisor y receptor es la misma y esa altura es de 1,7 m.

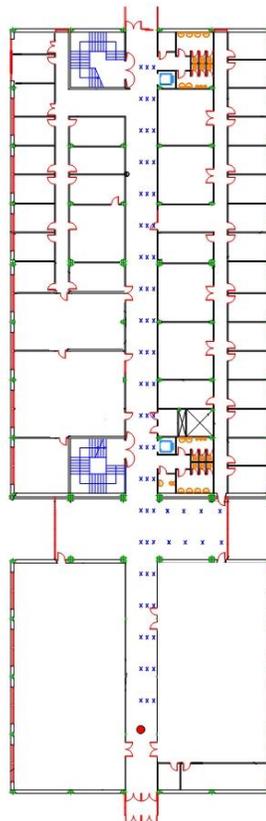


Figura 4.2. Plano del pasillo con los puntos donde se han tomado las mediciones y donde se ha colocado la antena emisora

## 4.2.2.-El Sario

Las condiciones de este pasillo son completamente diferentes a las condiciones del lugar anterior, ya que a pesar de ser un pasillo sus dimensiones son muy grandes y por lo tanto el efecto de las reflexiones será menor. Aunque si muestra ciertas similitudes con el pasillo del departamento, en el sentido de que es una estancia sin obstáculos.

En este caso también se han tomado medidas tanto a la altura de la antena emisora como al ras del suelo para poder comprobar la efectividad de los modelos cambiando esta variable.



Figura 4.3. Imágenes del Sario una de ellas con el motaje ya hecho

### 4.2.3.-Empresa Disayt

Esta empresa se sitúa en una nave grande y en su interior hay un gran número de estructuras metálicas donde colocar los pales. Estos pales están repletos de cajas de cartón que contienen botellas de cristal llenas de líquidos.

Es un entorno idóneo para hacer pruebas porque es una de las distribuciones clásicas que presentan las empresas de logística que queremos equipar con RFID. En la Figura 4.4 se puede ver la distribución de este entorno.



Figura 4.4. Pasillo central de la empresa Disayt

La zona del almacén en la que tomamos las medidas es un pasillo largo con otros pasillos alrededor perpendiculares a el formados por las estructuras metálicas ya

mencionadas. Además este pasillo tiene en sus dos desembocaduras zonas más amplias donde descargan los camiones. Estas zonas amplias se pueden ver en la Figura 4.5 y las estructuras de hierro en la Figura 4.6.



Figura 4.6. Zona amplia al final del pasillo en la empresa Disayt

Figura 4.5. Estructuras de metal o estanterías donde se colocan los palets.

Además, aunque guarda similitudes con los entornos ya descritos, en el sentido de que es amplio como el Sario, aunque también tiene muchas diferencias, como que hay un gran número de obstáculos, con lo que podemos sacar conclusiones diferentes.

En lo referente a las medidas, estas han sido tomadas como la mayoría de las anteriores, poniendo las dos antenas a la altura de 1,7 m y desplazando la antena receptora poniéndola enfrente de la emisora. Aunque también se han hecho medidas en donde irían colocados los pales ya que es ahí donde irán colocados los productos con las etiquetas RFID que los identifiquen

## 4.3.-Instrumentación

A continuación se muestra la instrumentación que se ha usado para medir, con sus respectivas características:

### 4.3.1.-Analizador de espectros:

Este aparato ha sido fundamental para poder medir la potencia recibida en los puntos de recepción seleccionados. Se trata de un analizador de espectros de la marca Agilent perteneciente a la familia FieldFox, concretamente el *Agilent, modelo N9912A FieldFox RF Analyzer*. Es un instrumento robusto y portable de sencillo manejo, con lo que es ideal para el tipo de medidas que se han realizado, ya que permite el desplazamiento por todo el local de manera sencilla, algo que un analizador no portable no permitiría.

Aunque en este estudio solo se han utilizado las funciones de analizador de espectros, esta herramienta ofrece más posibilidades como son el análisis de interferencias, mediciones de potencia, análisis de redes vectoriales y un voltímetro[13].

**Características:**

**Analizador de espectros: de 5KHz a 4GHz y 6GHz opcional**

**Ancho de banda de video: 1Hz a 2MHz**

**Ancho de banda de resolución: 10Hz a 2MHz**

**Precisión:0.1 dB**

**Rango: +30dBm a -170dBm**

**Dimensiones: 292x188x72 mm**

**Peso: 2.8 Kg**



Figura 4.7.FieldFox RF analyzer

### 4.3.2.-Generador de señal

Para generar la señal a 868 MHz que luego el analizador de espectros captaría en los diferentes puntos ha sido necesario un generador de señales. Este generador es el Rohde & Schwra SMY02 que se muestra en la Figura 4.8[14].

El generador muestra un interfaz fácil de usar con lo que su manejo es sencillo, además, muestra buenas prestaciones y genera buenas señales. Tiene un gran número de funciones que no se han usado, así que a continuación se describen sus características más importantes.

**Características:**

- Rango de Frecuencias: 9KHz a 2080 MHz**
- Rango de nivel de señal: -140 dBm a +13dBm**
- Resolución frecuencial: 1Hz**
- Frecuencia de modulación: 1 Hz a 500 KHz**
- Ruido de fase bajo en la banda lateral**
- Separación de canales estéreo de 50 dB**



Figura 4.8.Generador R&S SMY02

### 4.3.3.-Antena de panel

La antena de panel de Motorola Symbol AN480 es una de las dos antenas que se han conectado al generador en las transmisiones. Esta antena está diseñada para su uso con tecnología RFID y muestra unas buenas características[15].

**Características:**

- Rango de frecuencias:865-956 MHz**
- Ganancia: 6dBi**
- Ancho del haz (plano H): 65°**
- Ancho del haz (Plano E): 65°**

**Conector: N hembra**  
**Impedancia: 50Ω**  
**Polarización: Circular a izquierda (LHCP)**  
**Dimensiones: 25.91x25.91x3.35 cm**



Figura 4.9. Antena de panel

#### 4.3.4.-Antena pequeña para interiores

Esta antena de la marca RF Solutions es el modelo FLEXI SMA90-868 y trabaja en la banda de frecuencia del RFID. Es un dipolo de cuarto de longitud de onda y es de peor calidad que la otra ya que su ganancia no es muy elevada[16].

**Características:**

**Rango de Frecuencia: 868MHz**  
**Ganancia: 2 dBi**  
**VSWR<2.0**  
**Impedancia: 50Ω**  
**Longitud: 79 mm**  
**Diámetro: 14mm**  
**Temperatura de operación: 30°-85°C**



Figura 4.10. Antena mini para interiores

### 4.3.5.-Montaje

El montaje del material es muy simple, aunque hay que tener ciertas precauciones a la hora de colocar la antena, intentando siempre que quede perpendicular al suelo. La antena se coloca en un trípode y esta se enchufa mediante cables coaxiales al generador.

Por otro lado, se conecta la antena receptora al analizador mediante un cable coaxial para poder trasladarla por todo el recinto.

En la figura x se puede ver el montaje del receptor



Figura 4.11. Montaje de la antena receptora para poder llevar a cabo las mediciones

## 5. Resultados

A continuación se muestran los resultados de dos tipos de experimentos, en primer lugar se muestran comparaciones entre las mediciones hechas en los tres escenarios y los cálculos empíricos realizados.

En segundo lugar se calcula potencia que recibiría el lector usando el modelo two slope y las medidas de pérdida de potencia tomadas en los diferentes puntos del escenario que nos resulta más interesante, el de la empresa logística.

### 5.1.-Cálculos empíricos

#### 5.1.1.-Pasillo:

Las medidas en el pasillo han sido tomadas cada 3,5 metros a lo largo de un pasillo de 75 metros, tomando tres medidas en cada punto, una en el centro, en frente de la antena, otra en la pared y otra entre la pared y el centro. Además también se toman ocho medidas en el pasillo perpendicular pequeño ya descrito antes.

La frecuencia con la que se emite la señal es de 868 MHz y la potencia con la que esta es transmitida de 20 dBm.

Para poder comparar los resultados obtenidos de los cálculos hechos con los diferentes modelos empíricos y las medidas experimentales, se han hecho varias graficas superponiendo todos estos resultados.

En este caso hay 5 graficas diferentes, tres en la línea de visión directa, una perteneciente a la línea central (zona central) otra perteneciente a la zona pegada a la pared (zona pared) y la última que se encuentra entre estas dos (zona lateral). Las otras dos corresponden al hueco del pasillo. (Zona hueco ventanas)

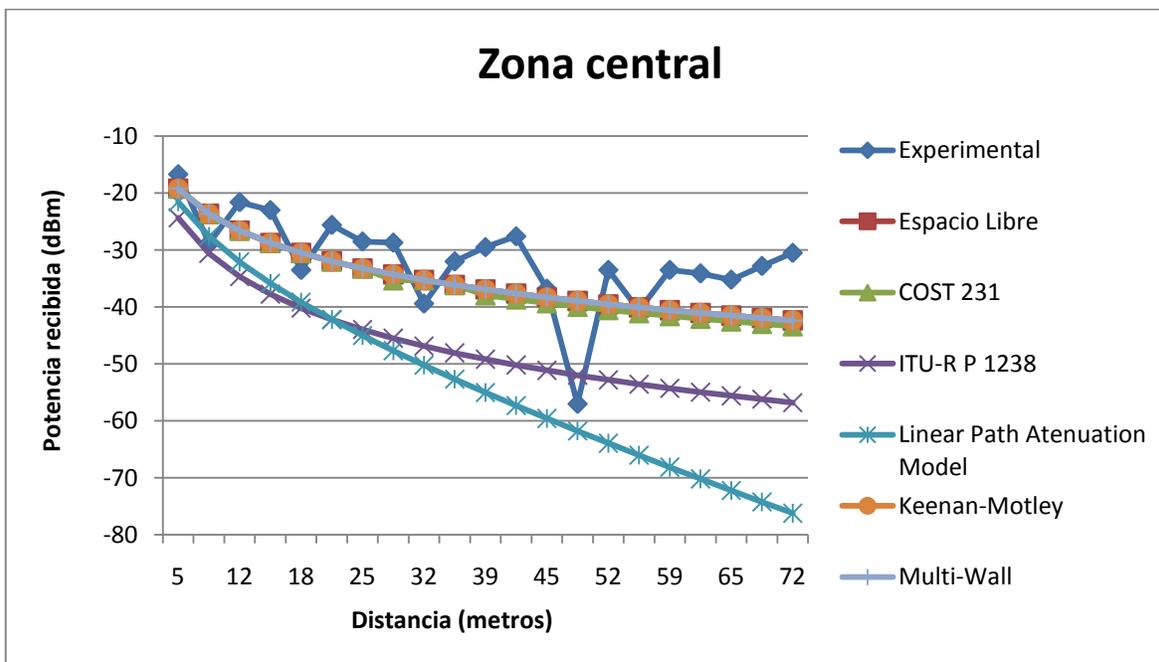


Figura 4.12. Comparativa de los modelos empíricos con las medidas experimentales de potencia recibida para la zona central del pasillo

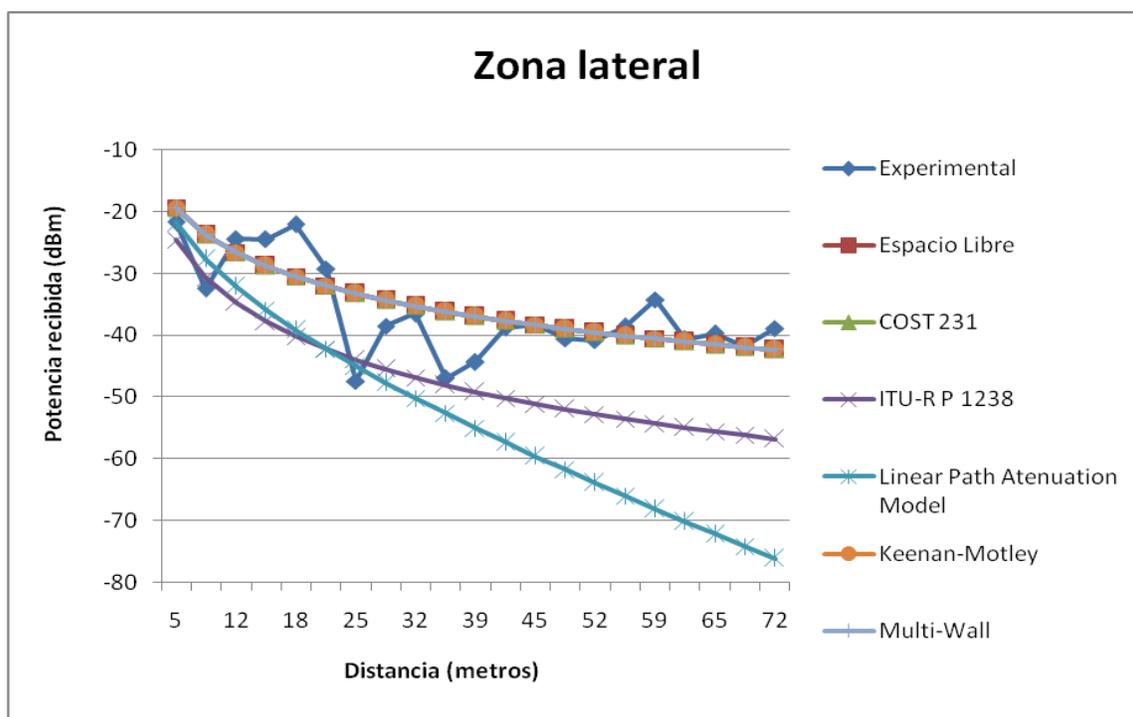


Figura 4.13. Comparativa de los modelos empíricos con las medidas experimentales de potencia recibida para la zona lateral del pasillo.

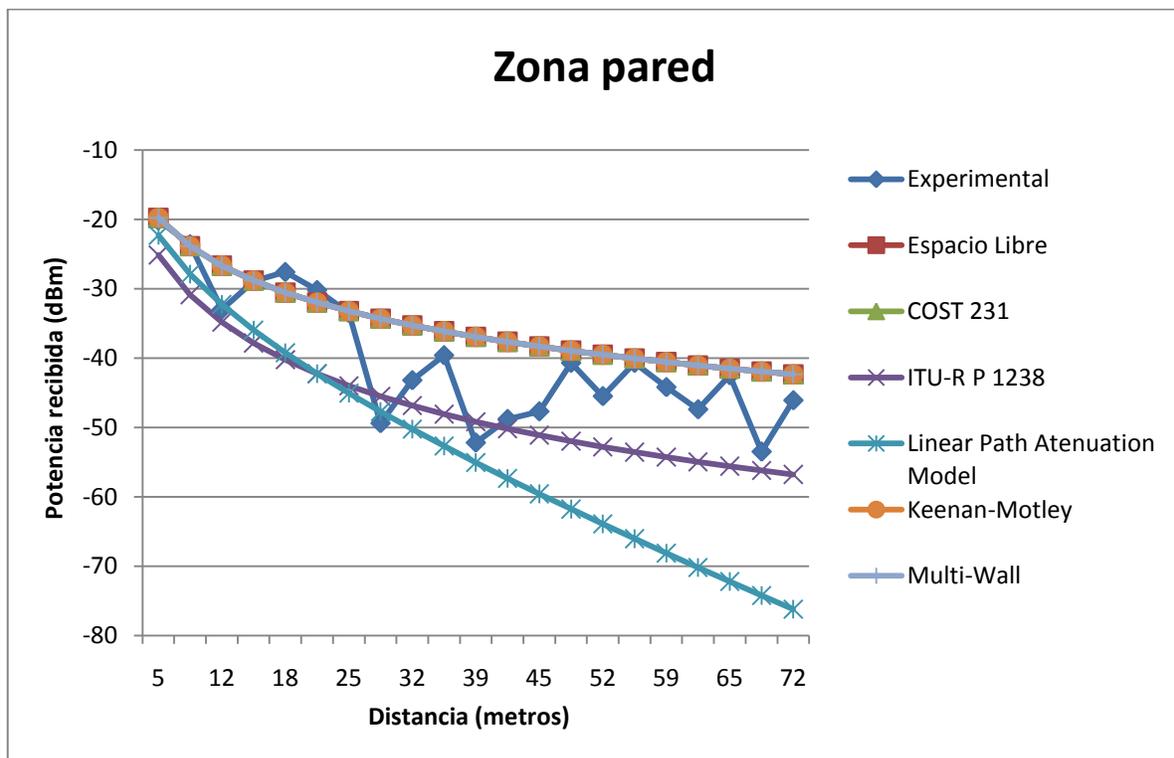


Figura 4.14. Comparativa de los modelos empíricos con las medidas experimentales de potencia recibida para la zona más cercana a la pared del pasillo

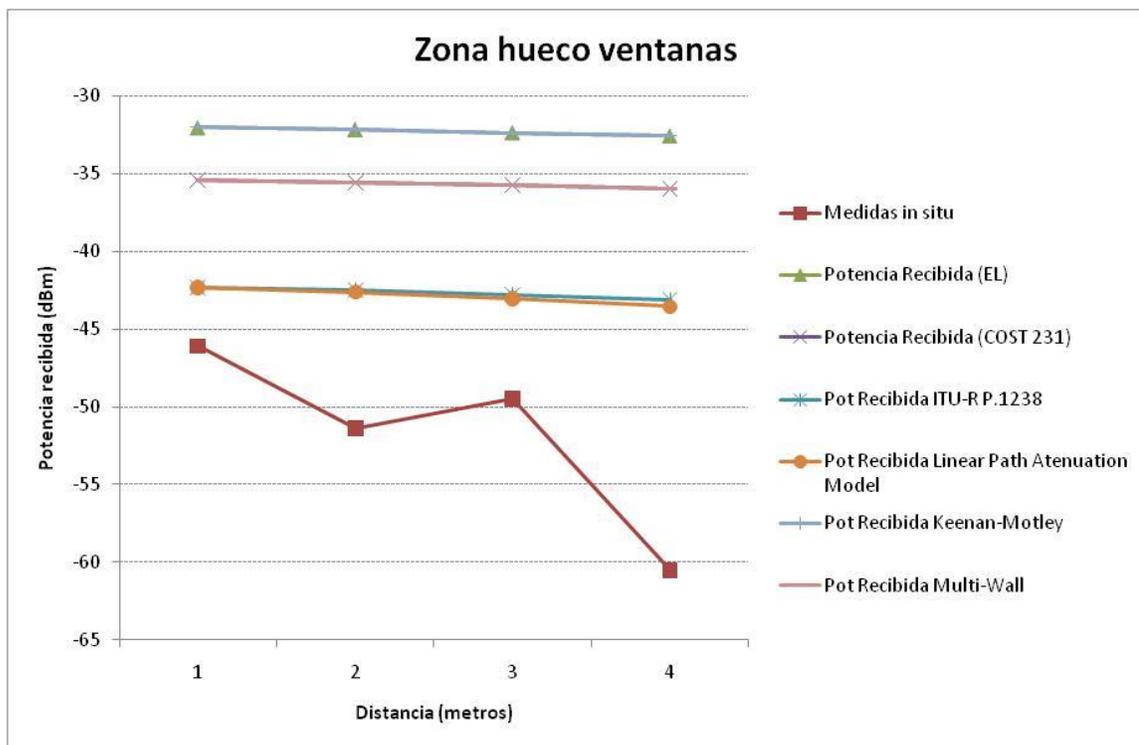


Figura 4.15. Comparativa de los modelos empíricos con las medidas experimentales de potencia recibida para la primera parte del hueco de la ventana sin visión directa

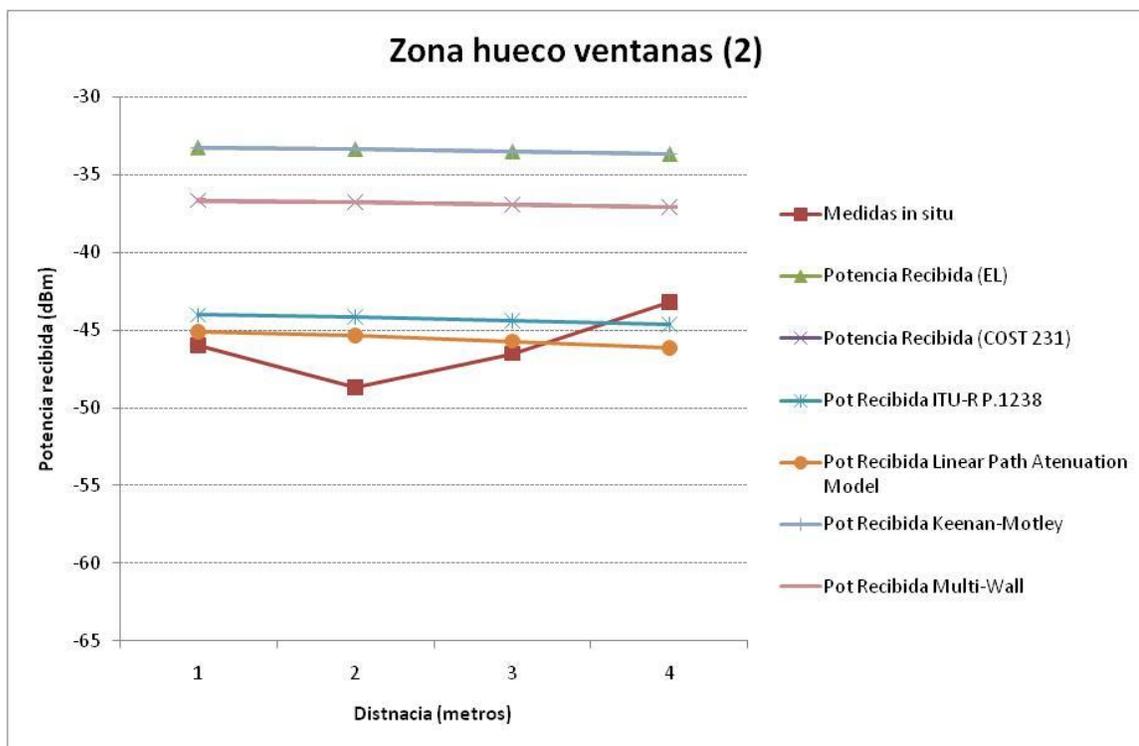


Figura 4.16 Comparativa de los modelos empíricos con las medidas experimentales de potencia recibida para la segunda parte del hueco de la ventana sin visión directa

En las primeras tres graficas se puede comprobar que como cabria esperar la potencia recibida depende siempre de la distancia, aunque por la naturaleza de la sala en la que están hechas las mediciones, un pasillo estrecho, se puede comprobar que las reflexiones tienen efecto sobre la potencia recibida y la curva de caída no es suave.

Esto se debe a que algunas reflexiones pueden estar en contrafase y afectar negativamente a la potencia de algunos puntos y otras pueden afectar positivamente en caso de estar en fase.

Además también se ve claramente un aumento de la potencia en la zona final del pasillo, donde en el caso de que la pérdida de potencia dependiera exclusivamente de la distancia la potencia debería ser más baja. Esto es gracias a las múltiples reflexiones de las paredes que contribuyen constructivamente a la onda electromagnética.

En los modelos empíricos en cambio, si se contempla esa caída suave mencionada, ya que estos sí que dependen únicamente de la distancia, por eso es que aunque quieran acercarse a las medidas experimentales, en algunos puntos se dan diferencias de más de 10 dB.

Por lo que se refiere a las graficas del hueco de las ventanas se ve que estas se alejan más de los modelos empíricos, esto es porque no existe la visión directa. Aunque se comprueba una diferencia entre las graficas que perteneces a la zona que esta mas escondida y la zona que esta mas expuesta.

Es destacable que paradójicamente los modelos que no son buenos para interior se acercan más a las medidas en estas circunstancias.

En la Figura 4.17 se ilustra un cálculo hecho de este mismo pasillo con trazado de rayos. En este se puede comprobar que se tiene en cuenta las difracciones de las paredes, lo que hace que los resultados sean más parecidos a la realidad, ya que la pérdida de potencia no depende solo de la distancia como en los modelos empíricos.

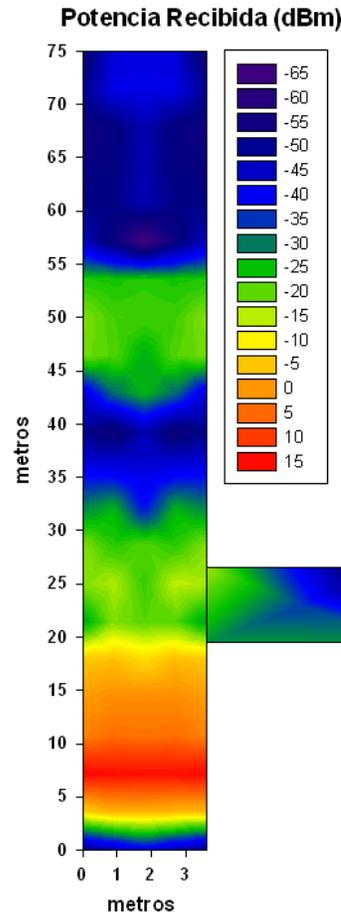


Figura 4.17. Calculo del pasillo hecho mediante trazado de rayos

### 5.1.2.-El Sario

En estas medidas también se divide el escenario en tres zonas diferentes, la zona central, la zona lateral y la zona de la pared, pero como en este caso la sala es más grande, la distancia entre la zona central y la lateral es de dos metros y la distancia entre la latera y la zona de la pared de 2,2 metros. La distancia entre un punto y el siguiente sin embargo es de 4,5 metros.

Además hay que recordar que para comprobar el efecto de medir al ras del suelo y la veracidad de los resultados obtenidos de forma empírica en estas circunstancias, estas medidas también han sido realizadas, por lo que a en esta sección se mostraran seis graficas, tres de ellas con la misma altura en las dos antena y otras tres con la antena emisora a una altura inferior.

Por último hay que destacar que aunque se mantiene la misma frecuencia que en el caso anterior cambia la potencia de la antena emisora, pasando a ser esta vez de 10dBm.

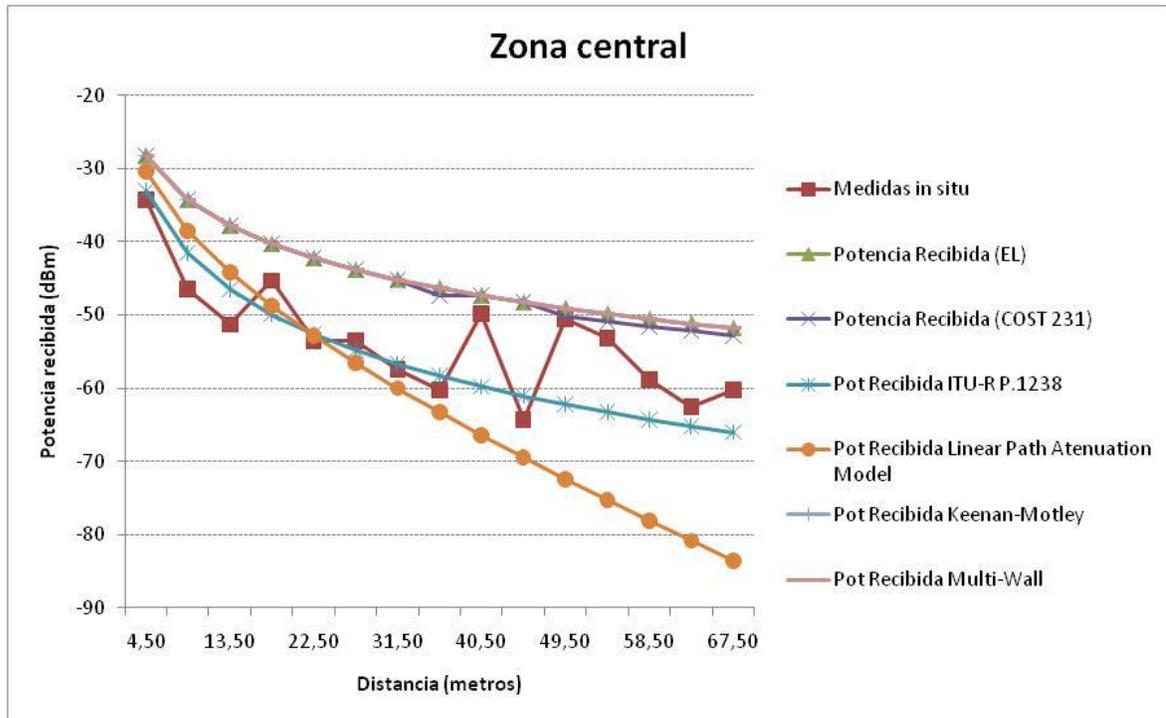


Figura 4.18. Comparativa de los modelos empíricos con las medidas experimentales de potencia recibida para la zona central del Sario

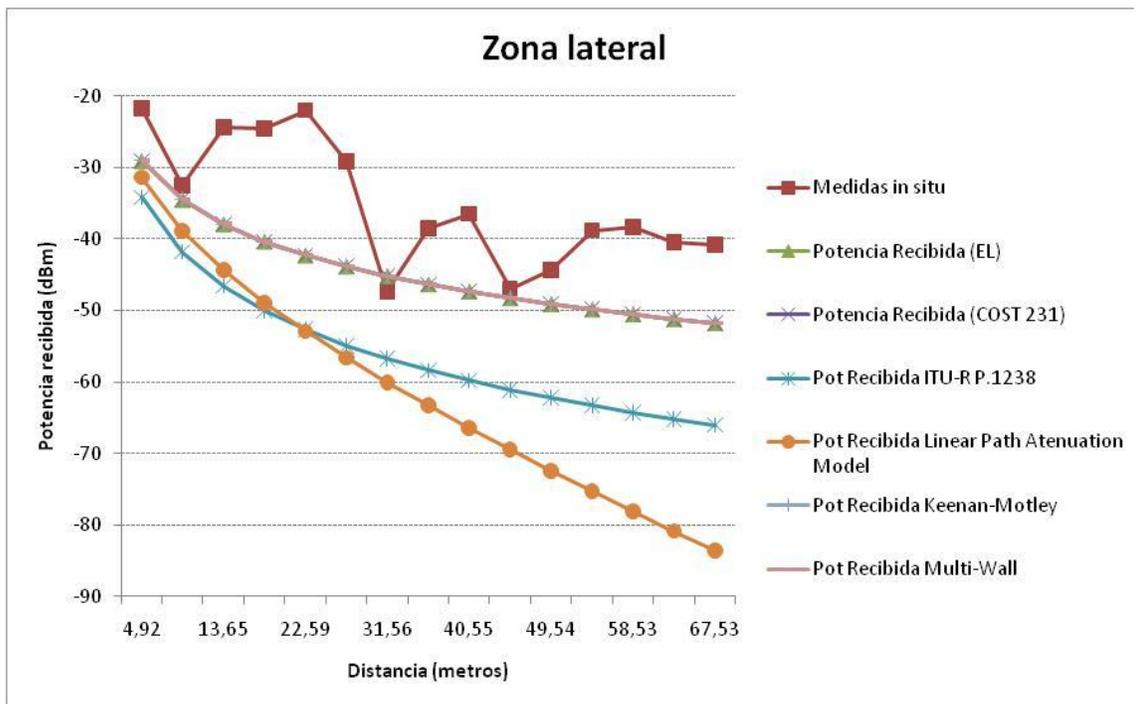


Figura 4.20. Comparativa de los modelos empíricos con las medidas experimentales de potencia recibida para la zona lateral del Sario

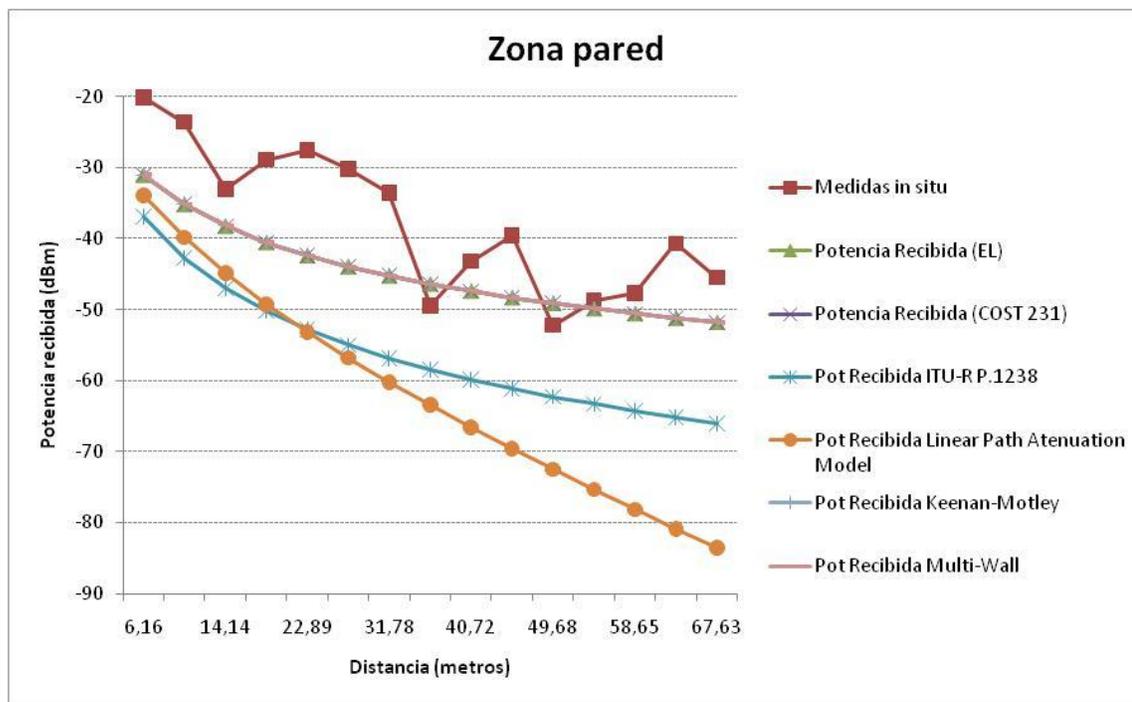


Figura 4.19. Comparativa de los modelos empíricos con las medidas experimentales de potencia recibida para la zona de la pared del Sario

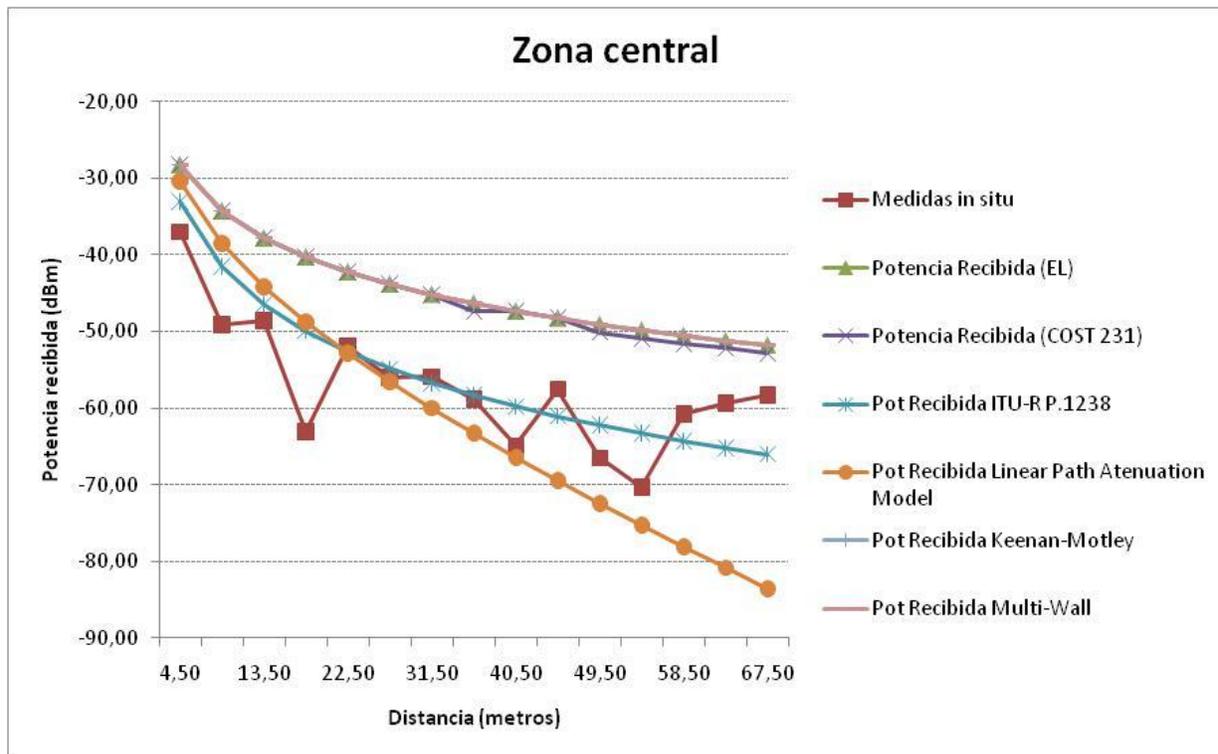


Figura 4.22. Comparativa de los modelos empíricos con las medidas experimentales de potencia recibida para la zona central del Sario, tomando las medidas experimentales al ras del suelo.

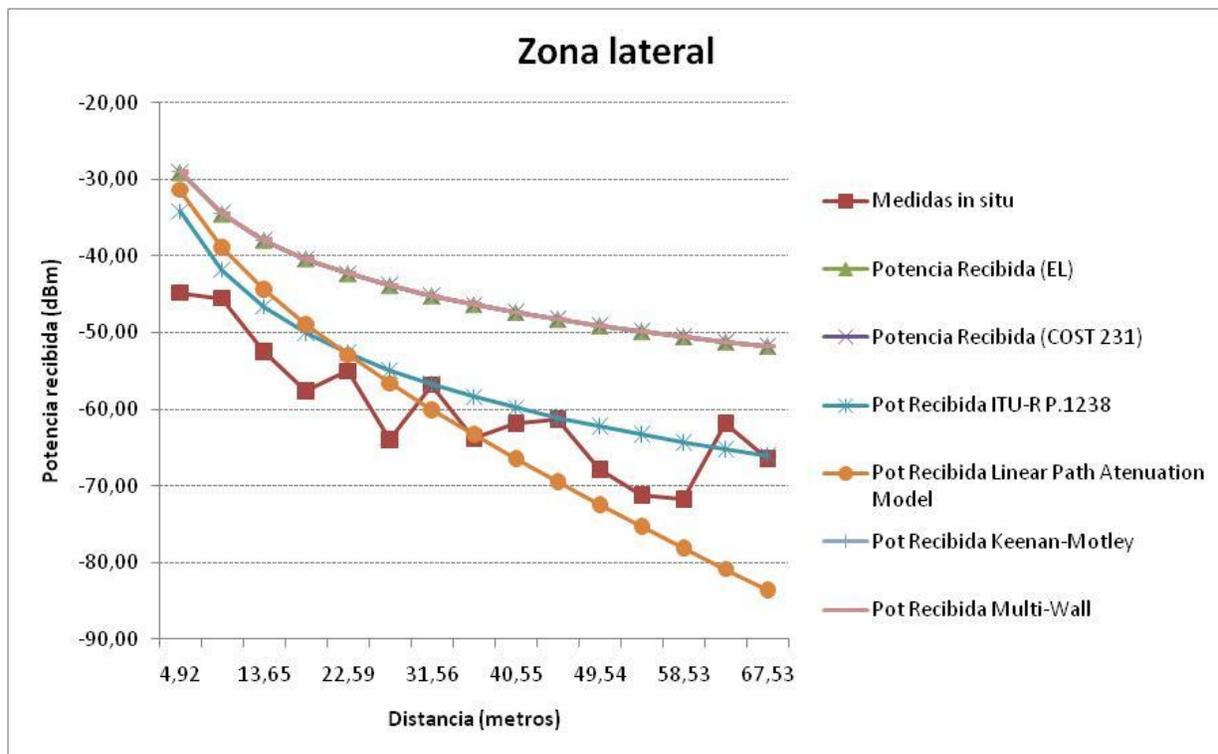


Figura 4.21. Comparativa de los modelos empíricos con las medidas experimentales de potencia recibida para la zona lateral del Sario, tomando las medidas experimentales al ras del suelo.

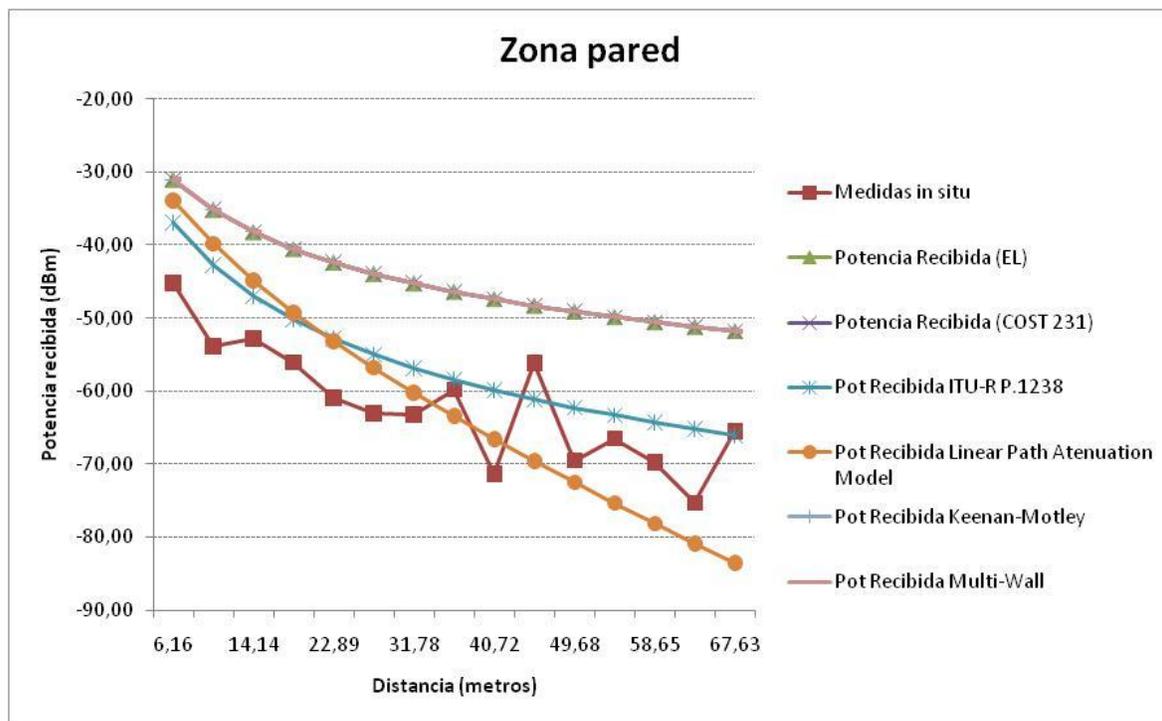


Figura 4.23. Comparativa de los modelos empíricos con las medidas experimentales de potencia recibida para la zona de la pared del Sario, tomando las medidas experimentales al ras del suelo.

En principio los resultados son idénticos a los del caso anterior, mientras que la medida experimental no decae gradualmente y tiene picos producidos por las reflexiones, los modelos empíricos muestran una caída suave, ya que solo dependen de la distancia.

En este caso, se puede decir que en la mayoría de los casos el modelo ITU-R P 1234 ha sido el que mejor se ha ajustado a la realidad, sobre todo en las zonas centrales.

Aunque lo que resulta sorprendente es que las medidas tomadas al ras del suelo para las zonas laterales y de pared se ajusten más que sus iguales a una altura normal.

### 5.1.3.-Empresa Disayt

En la empresa Disayt se han tomado dos medidas diferentes, una en el pasillo y otra en la zona de estanterías donde se ponen los palets. En el primer caso las medidas se han tomado cada 12,6 metros ya que para esta aplicación es interesante comprobar las pérdidas a largas distancias, ya que pretendemos colocar un lector que sea capaz de interactuar con los productos situados en todo el almacén.

En el segundo caso se toman cada 4,20 metros, a la distancia en la que se sitúa una estantería de otra, la idea de medir en esta zona es poder comprobar si la señal será capaz de llegar a los lugares donde típicamente se sitúan los productos.

En este caso al igual que en las mediciones del pasillo, la frecuencia usada es la de 868 MHz perteneciente a la banda UHF, y la potencia es de 20 dBm.

Para tener más datos de estudio se han llevado a cabo dos medidas diferentes de los mismos puntos en las mismas circunstancias. A continuación se muestran los resultados tanto de los modelos empíricos como de las medidas experimentales

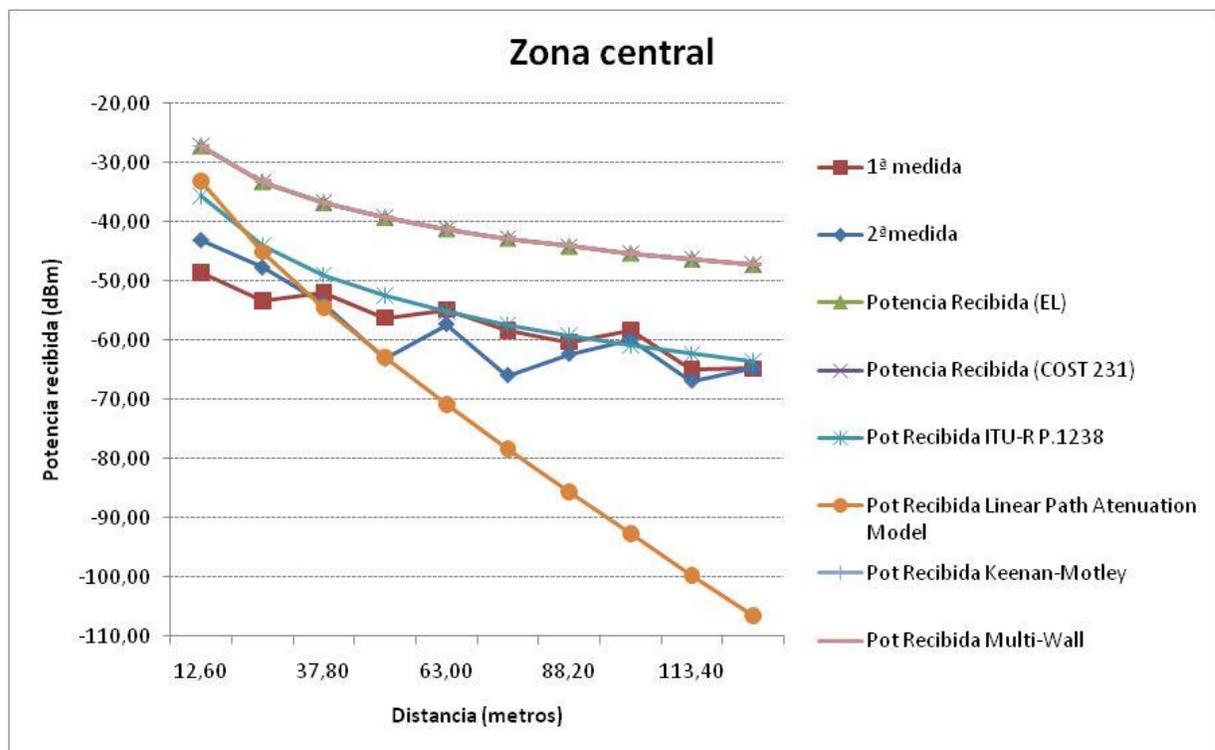


Figura 4.24. Comparativa de los modelos empíricos con las medidas experimentales de potencia recibida para la zona central de la empresa Disayt.

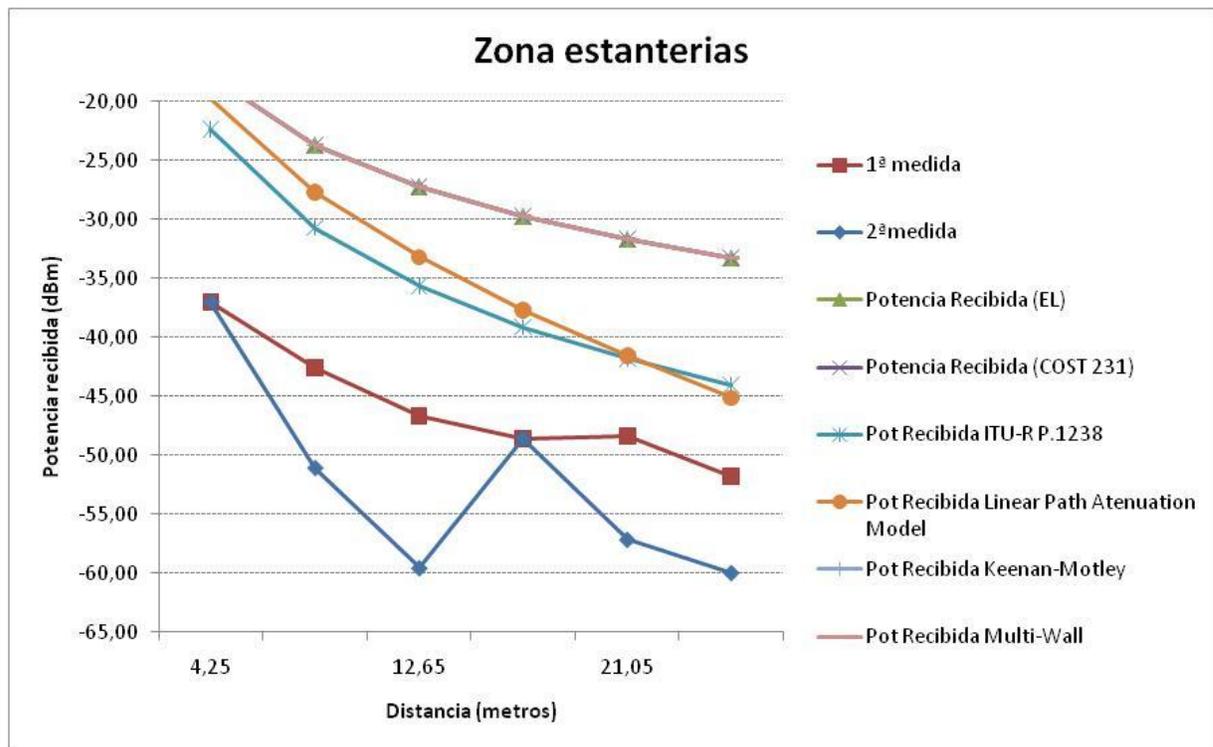


Figura 4.25. Comparativa de los modelos empíricos con las medidas experimentales de potencia recibida para la zona de estanterías de la empresa Disayt.

Se puede comprobar que aunque las dos mediciones muestren ciertas diferencias son bastante parecidas entre ellas tanto en la zona central como en la zona de estanterías, siendo como mucho de aproximadamente 10 dBs la diferencia mayor entre ellas.

En lo que a los modelos se refiere, el que mejor se ajusta en la zona central a las mediciones es el ITU-R P1238, llegando a ser casi idéntico en la última zona. En la zona de estantería en cambio, se llegan a diferencias de más de 10 dB y la menor de ellas es de 5 dB.

Estas medidas demuestran que este modelo empírico es bueno según se aleja la antena receptora de la antena emisora, ya que tanto en la zona central como en la zona de estanterías, las medidas más próximas se alejan más de los modelos.

Además también se puede pensar que las medidas en la zona de estanterías no se ajustan tanto porque están rodeadas de estructuras de metal que afectan a la propagación de las ondas electromagnéticas.

Estos estudios demuestran que la efectividad de los modelos empíricos depende esencialmente de las características de la sala, por lo que un modelo empírico será efectivo cuando las pérdidas de propagación resulten en la medida de lo posible solo de la pérdida por distancia. De tal manera que si por las características de la sala el efecto de las reflexiones difracciones y refracciones de la onda tiene un gran efecto en la pérdida de potencia los modelos serán poco efectivos

Por eso es que los modelos se ajustan mejor en la zona central y en los espacios abiertos y sin obstáculos, donde el efecto de estos fenómenos se minimiza.

Además, hay modelos que se ajustan mejor a las salas pequeñas y otros que se ajustan mejor a las amplias, de tal manera que el modelo ITU-R P1238 se ajusta muy bien tanto al estudio del Sario como al de la empresa cuando es el que peor se ajusta al pasillo. En el pasillo tanto el modelo COST 231 como el de espacio libre se acercan a las medidas realizadas.

Teniendo en cuenta que este estudio se centra en las aplicaciones logísticas del RFID, el que más se ajusta a las necesidades de este entorno, naves amplias como en el último caso estudiado, es el ITU-R P1238.

Aunque también hay que decir por lo ya mencionado que ningún modelo es excesivamente preciso, por eso es mejor usar alternativas como la mostrada en el pasillo de modelos basados en trazado de rayos, que si se desarrollan de forma adecuada, son mucho más efectivos.

## 5.2.-Potencia recibida por el lector

### 5.2.1.-Empresa Disayt

A continuación se muestra un cálculo de la potencia que recibiría un lector si emitiera una señal y un etiqueta le respondiera. Este estudio se ha hecho cambiando tanto el coeficiente de reflexión del tag como su sección radar y suponiendo que el tag está colocado en dos objetos diferentes.

El primero de ellos es una caja de madera, algo lógico, teniendo en cuenta que en el sector logístico, una etiqueta puede estar adherida a un pale de madera. El segundo es una botella de agua, ya que podemos imaginar que se quiera identificar por artículos y estos sean botellas de agua o de cualquier otro liquido.

Además se han introducido cuatro umbrales que pertenecen a cuatro tipos de lectores diferentes con diferentes sensibilidades, para ver si un lector real es capaz de trabajar en esas circunstancias.

Por ultimo hay que subrayar que se han usado tanto las medidas de las estanterías como las del pasillo central.

En las primeras cuatro graficas se hace un barrido cambiando el coeficiente de reflexión entre 0,1 y 1 y suponiendo que la etiqueta esta adherida en los dos objetos mencionados.

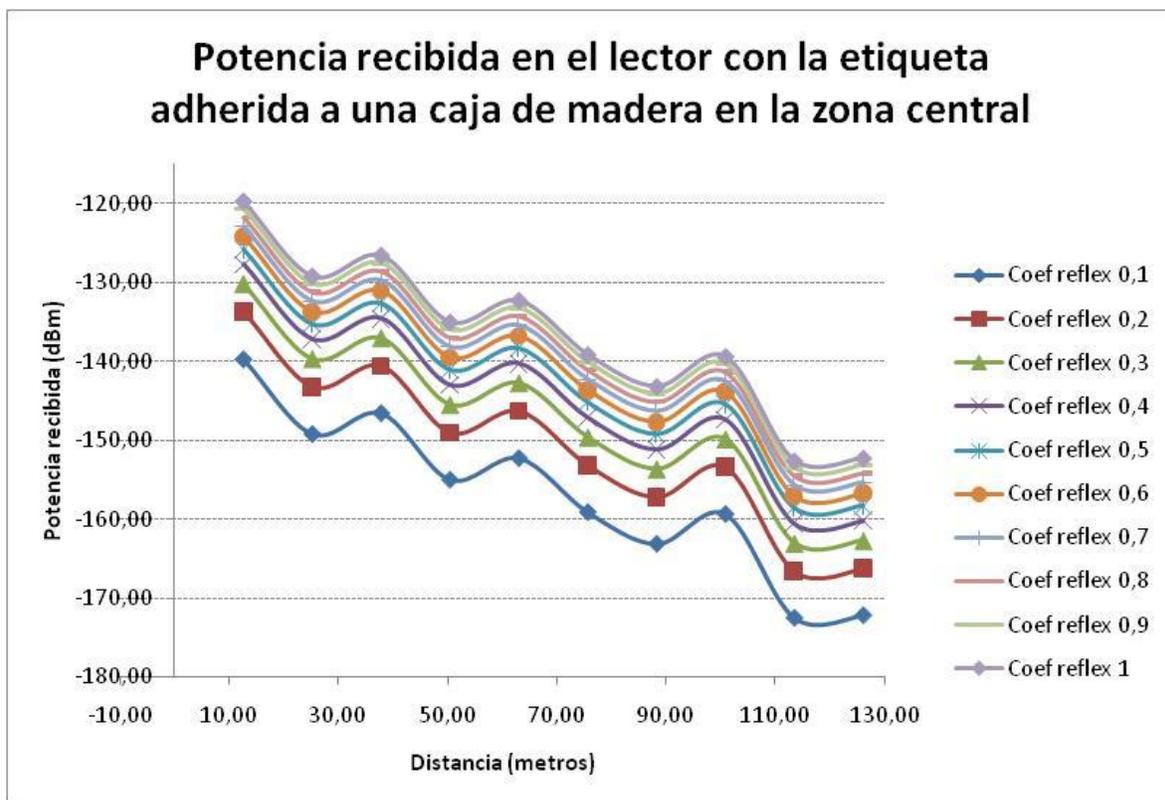


Figura 4.26. Potencia recibida en el lector cambiando el coeficiente de reflexión de las etiquetas, adheridas a una caja de madera en la zona central de la empresa Disayt

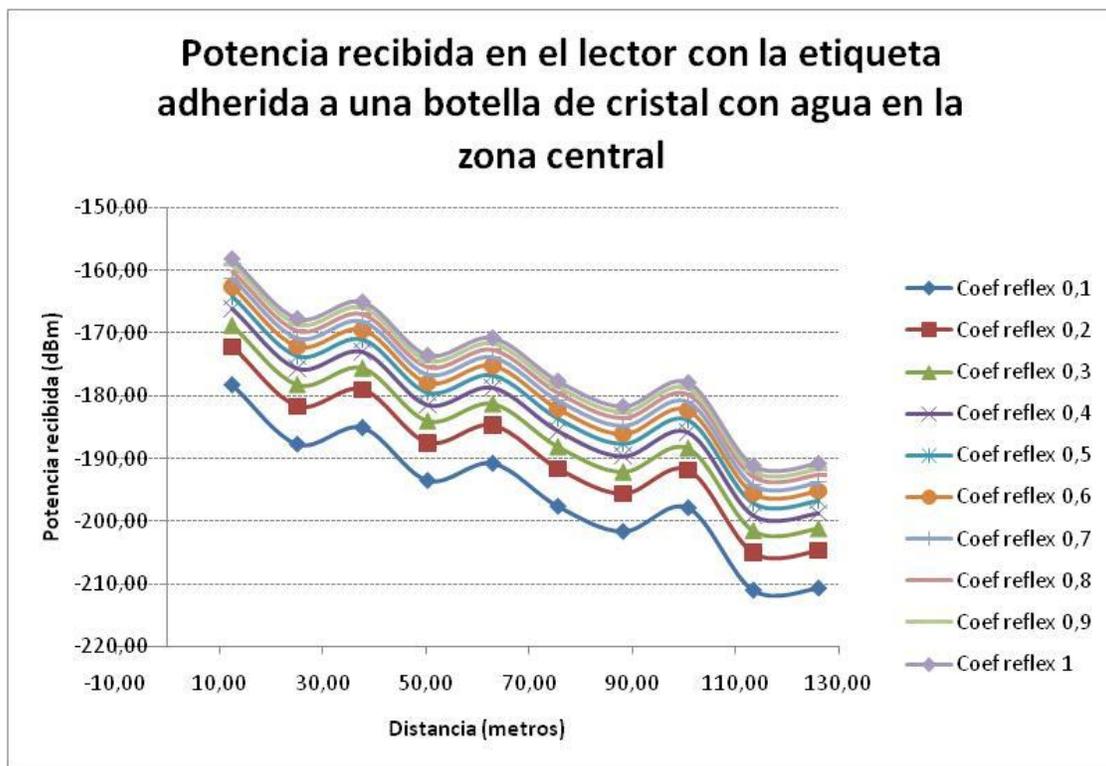


Figura 4.28. Potencia recibida en el lector cambiando el coeficiente de reflexión de las etiquetas, adheridas a una botella de cristal con agua en la zona central de la empresa Disayt.

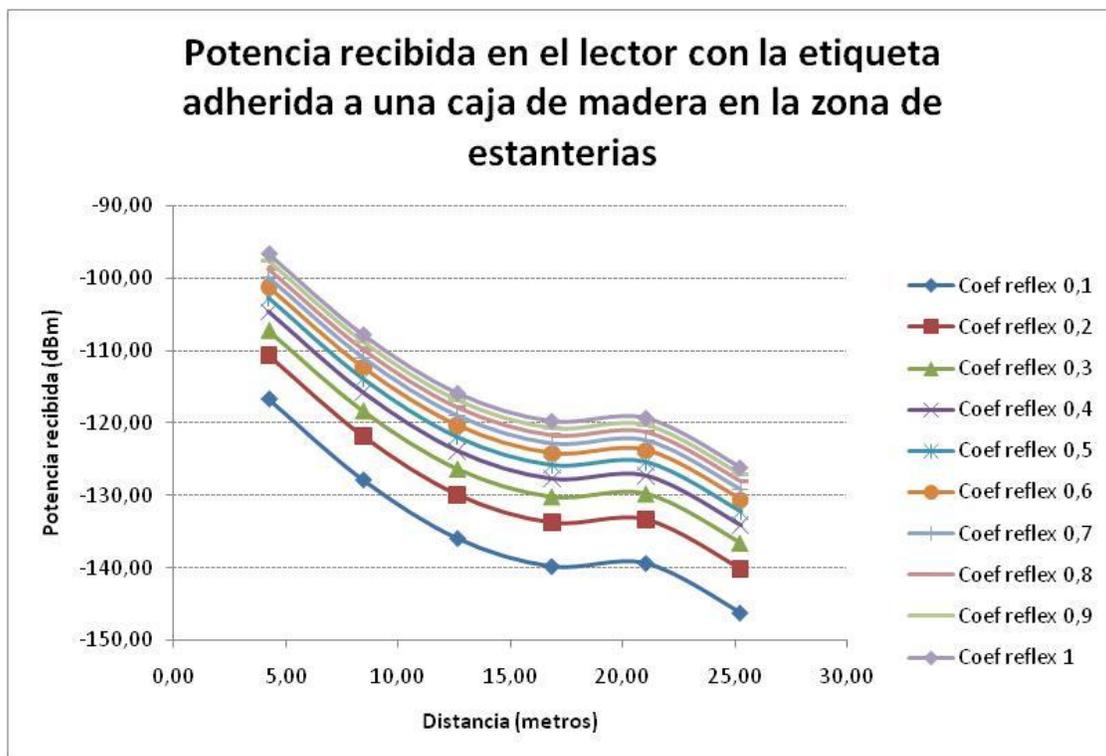


Figura 4.27 Potencia recibida en el lector cambiando el coeficiente de reflexión de las etiquetas, adheridas a una caja de madera en la zona de estanterias de la empresa Disayt

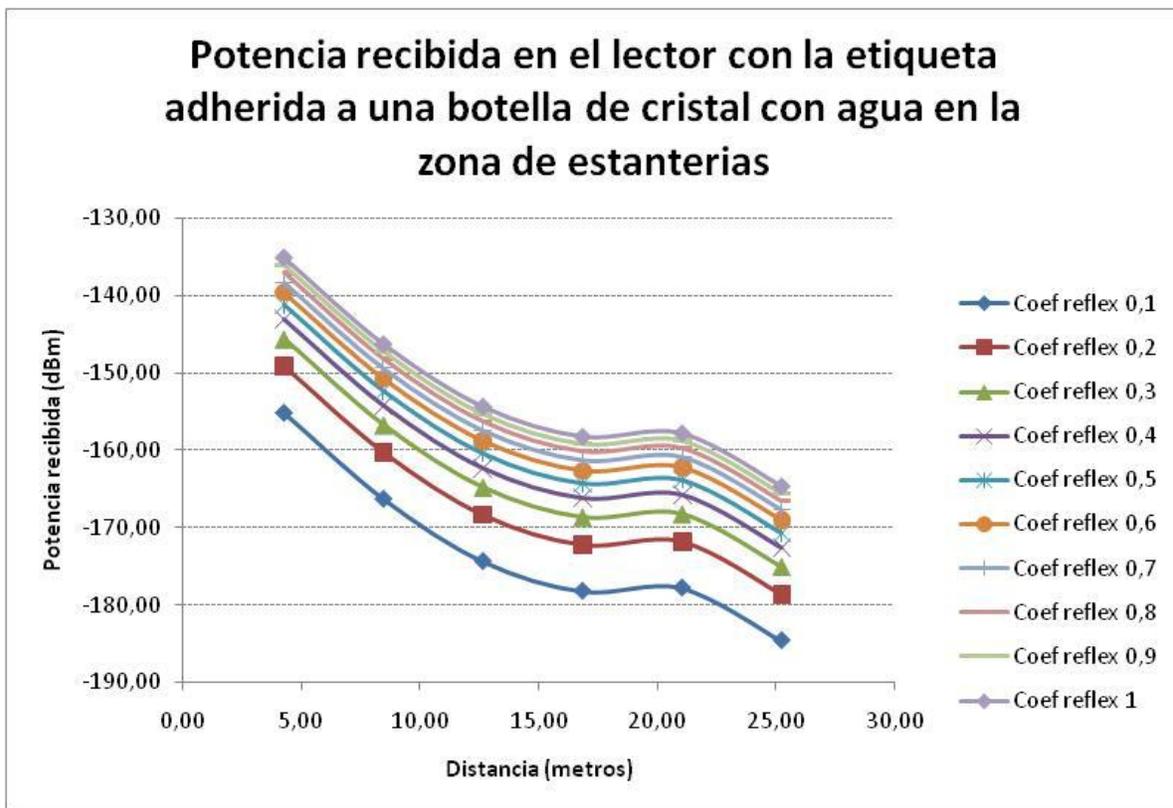


Figura 4.29 Potencia recibida en el lector cambiando el coeficiente de reflexión de las etiquetas, adheridas a una botella de cristal con agua en la zona de estanterias de la empresa Disayt

En las siguientes dos graficas, se comparan las potencias recibidas pegando las etiquetas en los dos objetos y manteniendo el coeficiente de reflexión en 0,5. Además, se introducen cuatro umbrales con la sensibilidad de los cuatro lectores diferentes ya comentados.

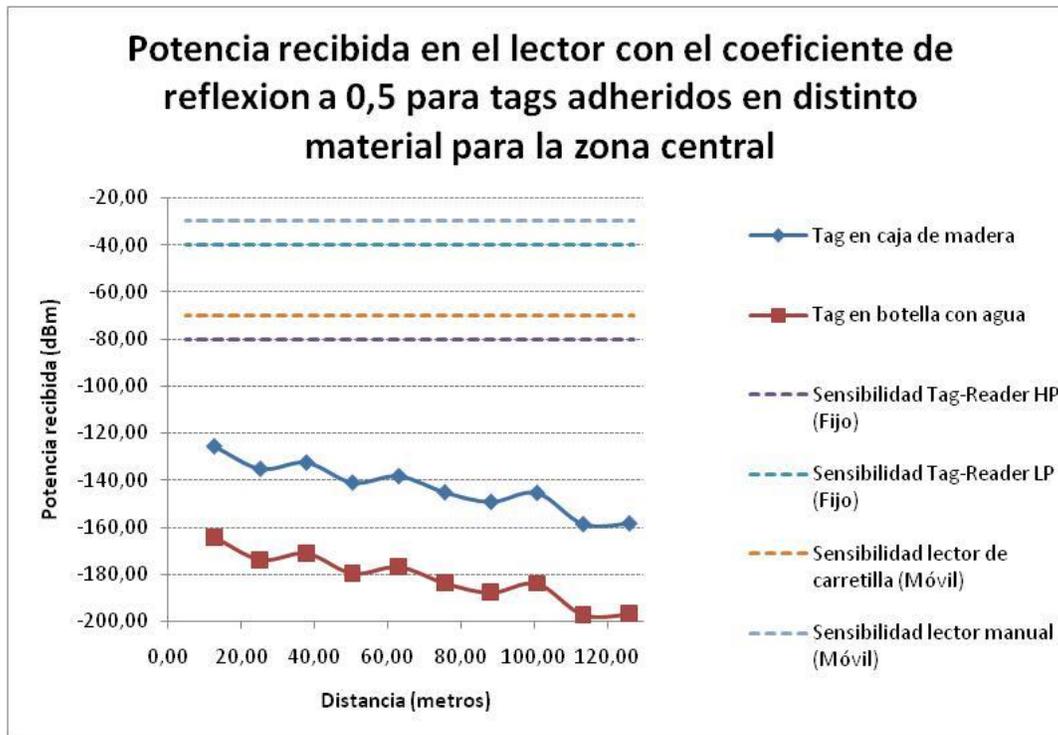


Figura 4.31. Comparación de la potencia recibida con un coeficiente de reflexión de 0,5, entre tags adheridos a una botella de cristal con agua y una caja de madera en la zona central. Comparación de estos con la sensibilidad de tres lectores

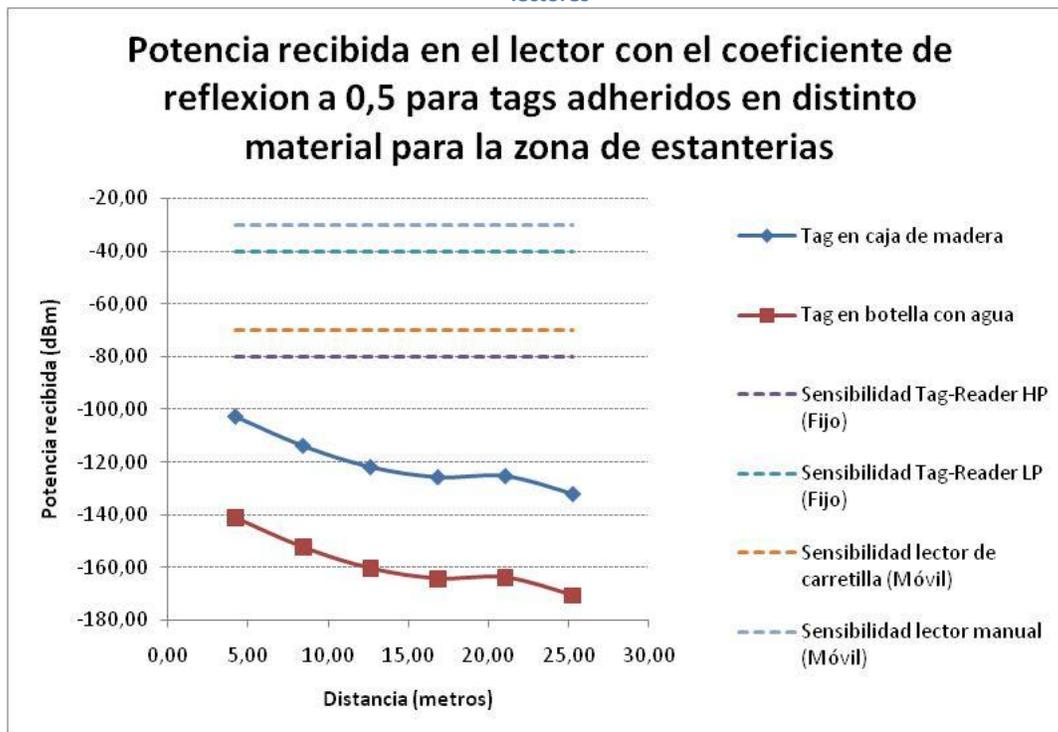


Figura 4.30. Comparación de la potencia recibida con un coeficiente de reflexión de 0,5, entre tags adheridos a una botella de cristal con agua y una caja de madera en la zona de estanterias. Comparación de estos con la sensibilidad de tres lectores

A continuación se muestra el cálculo de la potencia recibida por el lector, pero en este caso cambiando la sección radar, en este caso también se tienen en cuenta diferentes secciones radar para los dos tipos de material.

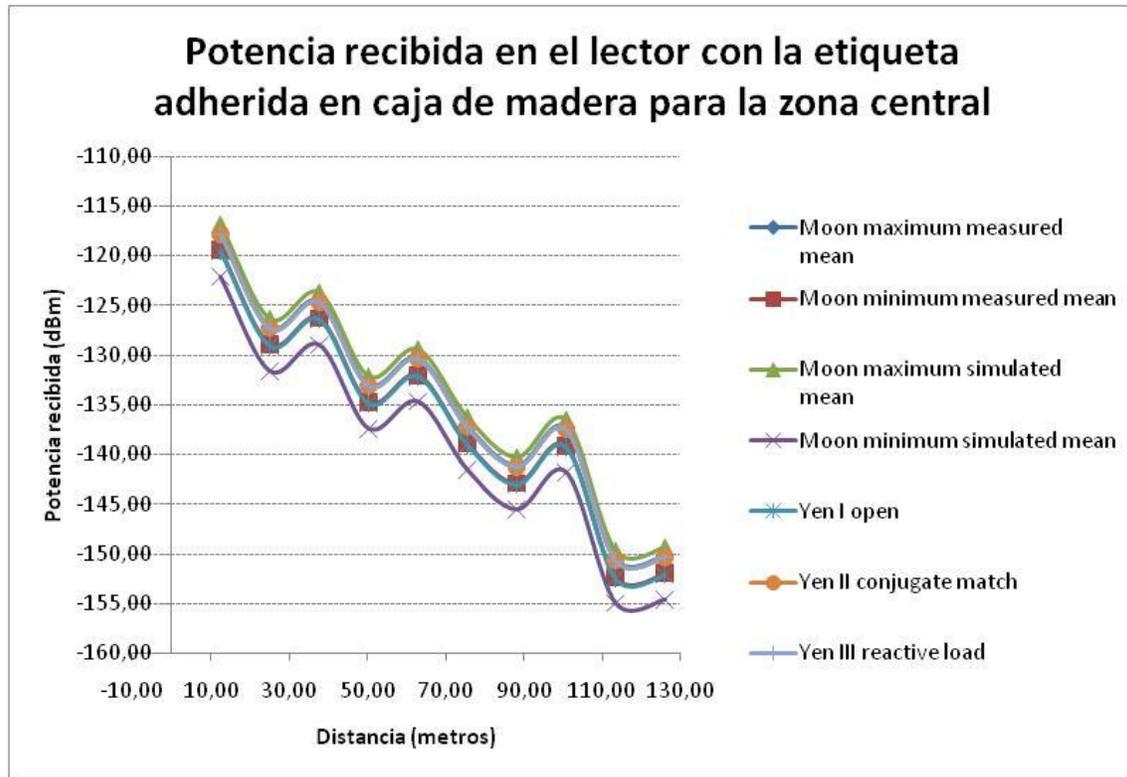


Figura 4.32. Potencia recibida en el lector cambiado la sección radar del tag, con la etiqueta adherida en caja de madera para la zona central

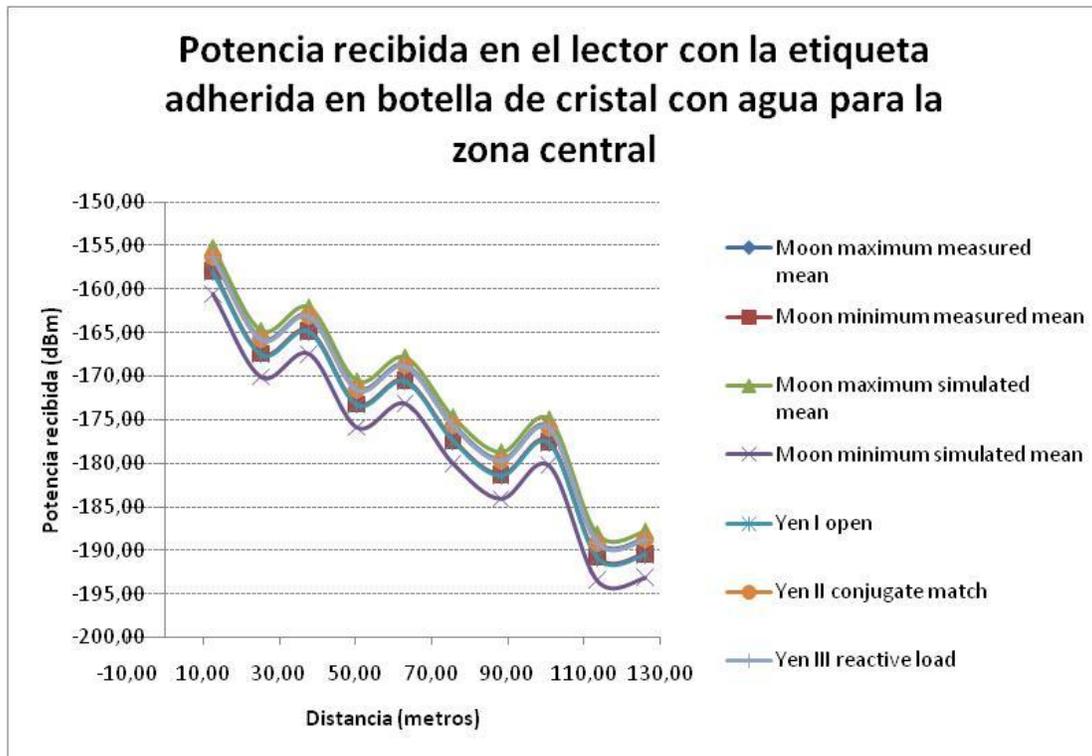


Figura 4.34. Potencia recibida en el lector cambiado la sección radardel tag, con la etiqueta adherida en botella de cristal con agua para la zona central

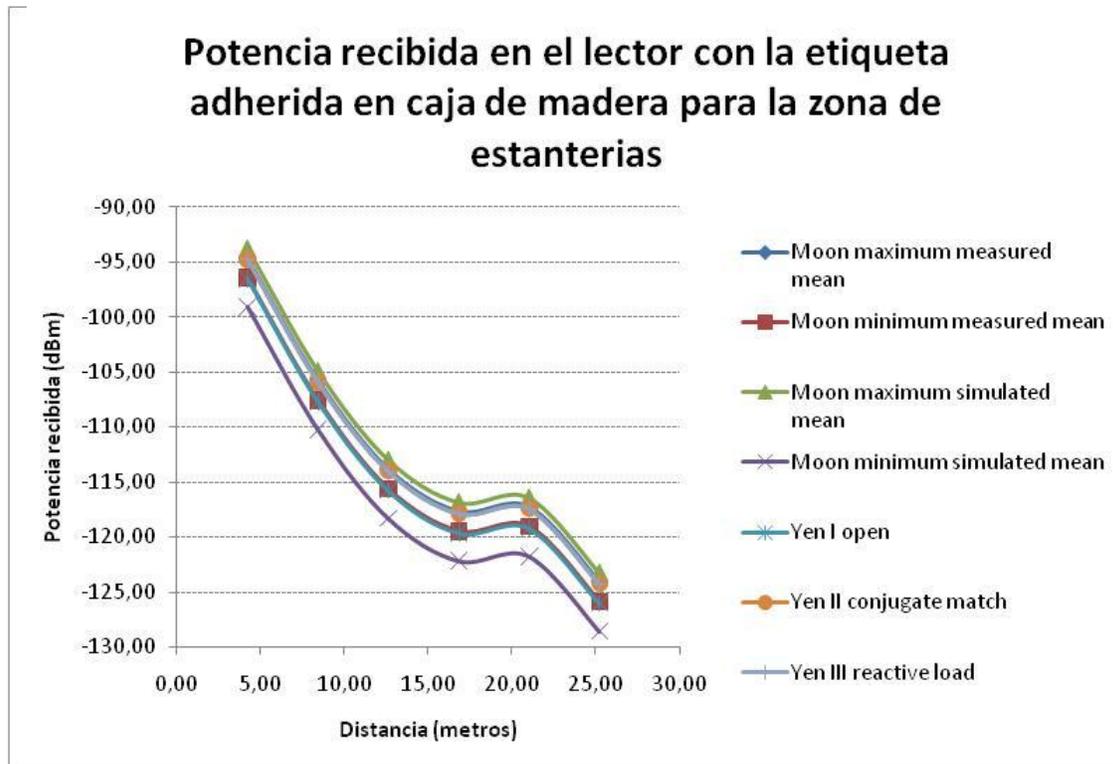


Figura 4.33. Potencia recibida en el lector cambiado la sección radar del tag, con la etiqueta adherida en caja de madera para la zona de estanterías.

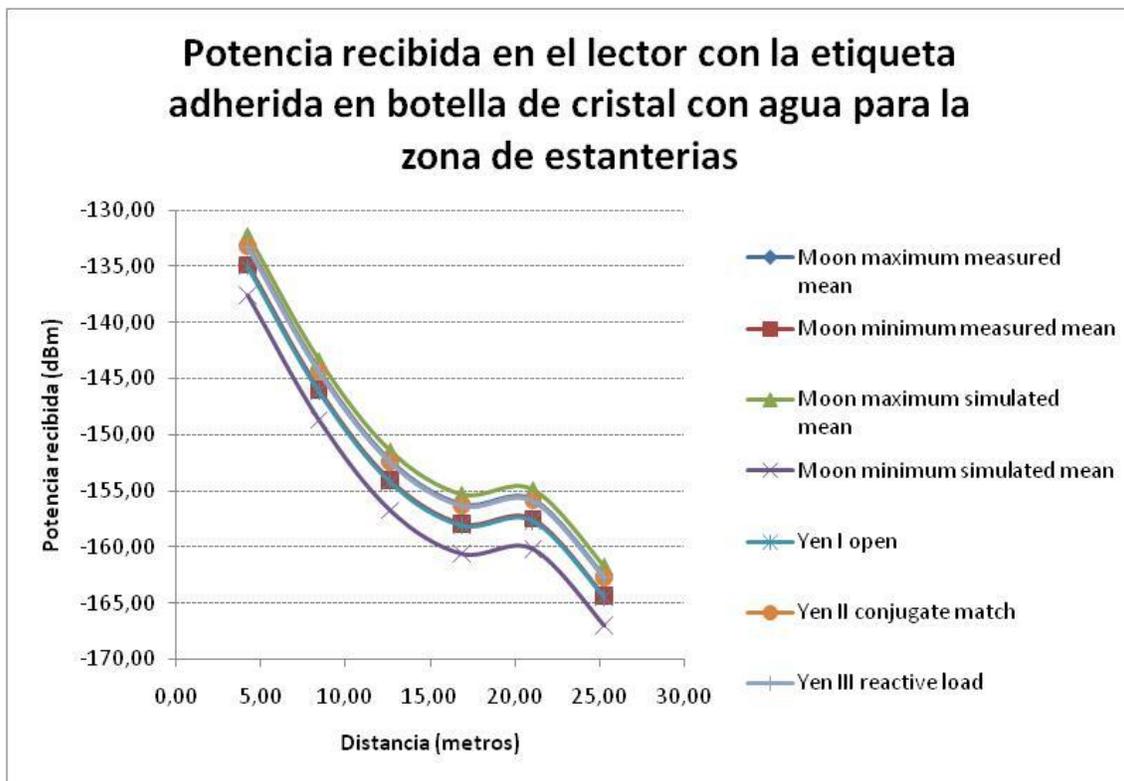


Figura 4.35. Potencia recibida en el lector cambiado la sección radardel tag, con la etiqueta adherida a una botella de cristal para la zona de estanterías.

En las siguientes grafica se muestra la potencia que recibe el lector en los dos casos, en el que el tag esta adherido a la caja de madera y a la botella de cristal usando solo el valor de sección radar de Moon maximun measured, también para la zona central y la zona de estanterías.

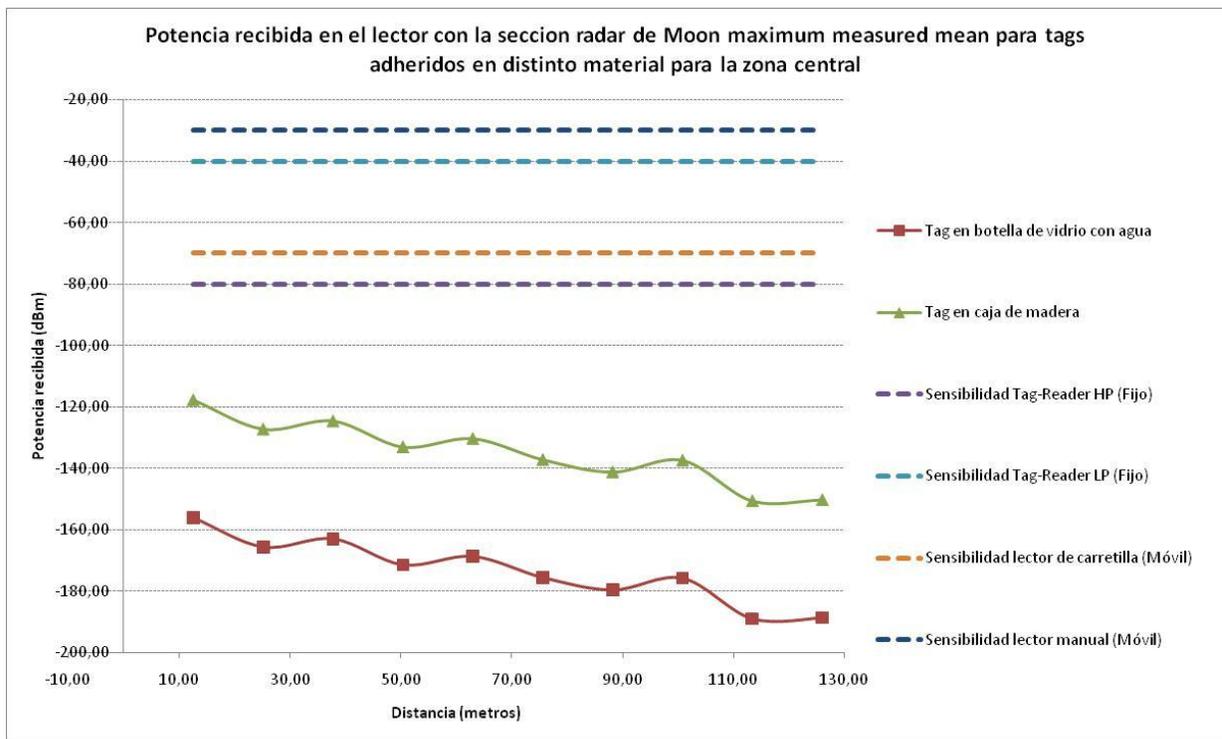


Figura 4.37 Comparación de la potencia recibida en el lector con la sección radar de Moon maximun, entre tags adheridos a una botella de cristal con agua y una caja de madera en la zona central. Comparación de estos con la sensibilidad de tres lectores.

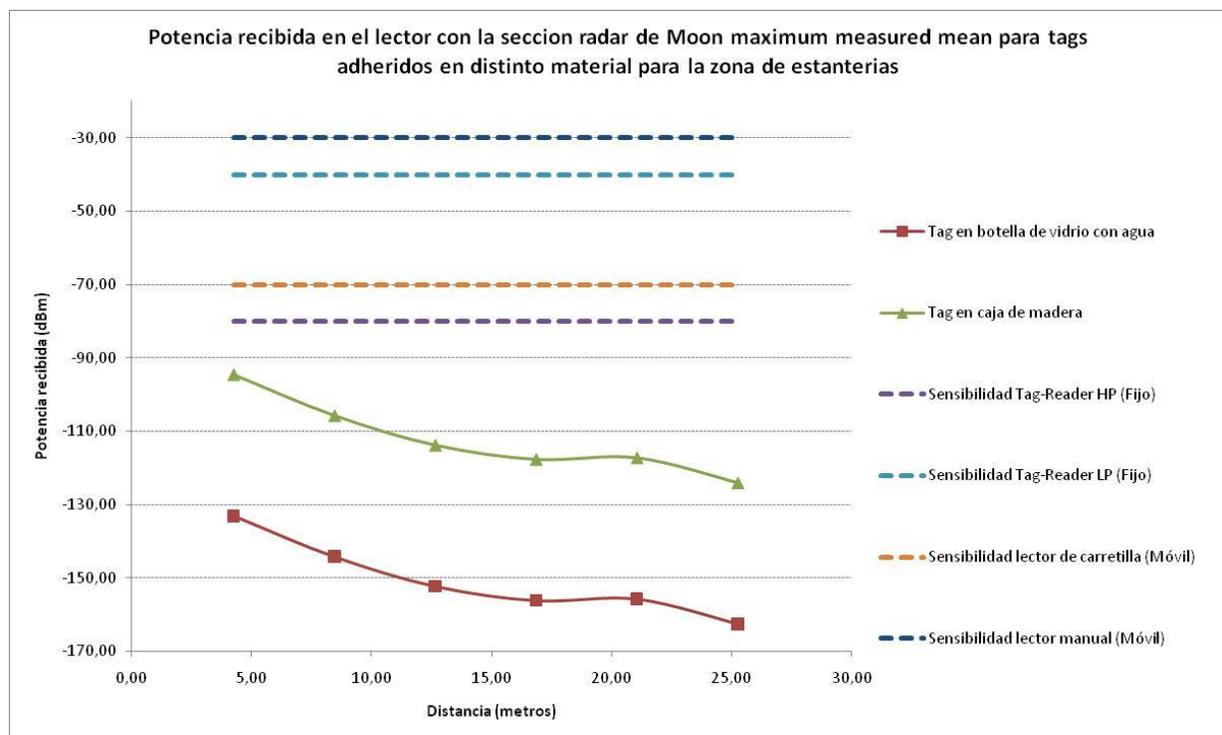


Figura 4.36 Comparación de la potencia recibida en el lector con la sección radar de Moon maximun, entre tags adheridos a una botella de cristal con agua y una caja de madera en la zona de estanterías. Comparación de estos con la sensibilidad de tres lectores.

De estas graficas se puede obtener mucha información interesante, ya que ayuda a dar una idea de cómo debería implantarse un sistema RFID real en un almacén. En primer lugar se ve que un lector real no es capaz de leer a largas distancias, por lo tanto es inviable poner un lector en la fábrica que obtenga información de todos los productos que se encuentran en ella.

Tampoco es posible dividir el almacén en distintas zonas de cobertura porque se comprueba que en la distancia más pequeña medida, alrededor de unos cuatro metros la potencia recibida por el lector tampoco llega al umbral de sensibilidad del mejor lector de los cuatro y poner lectores a una distancia inferior a esta supondría un gran gasto y surgirían grandes problemas por interferencias entre ellos.

Aunque el sistema de RFID no tiene porque estar estructurado así, el personal puede disponer perfectamente de un lector portátil para leer las etiquetas de los productos. También se ha hecho una medición a un metro de este entorno y se ha comprobado que a esta distancia el valor de potencia supera el valor de umbral de los lectores.

Este estudio también refleja que el coeficiente de reflexión es crucial para alcanzar distancias más largas de lectura, siendo preferible tener un coeficiente alto que uno bajo. En contraste con esto la sección radio del tag no resulta tan decisiva, ya que solo hay una diferencia de 5 dB entre la sección radar más alta y más baja.

Por eso se puede deducir que la elección del tag también se tiene que llevar a cabo con cuidado y comprar etiquetas que se ajusten a las necesidades de trabajo.

Por último es importante remarcar la diferencia entre niveles de potencia en el lector cuando el tag esta adherido a diferentes superficies. Esto es lógico, ya que los líquidos absorben de forma más contundentes que los materiales sólidos, aunque estos no sean conductores, como es el caso de la madera.

Por eso hay una gran diferencia entre la potencia de los tags adheridos a la caja de madera y el tag adherido a las botellas de cristal llenas de agua, siendo estas últimas las que menos potencia devuelven al lector.

En un sentido más práctico, si se pretende implantar un sistema RFID en un almacén, hay que tener en cuenta si se quiere hacer una gestión a nivel de pallet o a nivel de producto. En un ejemplo en el que el producto es una bebida embasada en una botella de cristal, habría que tener este factor en cuenta al hacer las lecturas.

## 6.-Conclusiones:

- Los modelos empíricos no son lo suficientemente exactos porque se basan solo en la distancia para calcular las pérdidas, por eso es más acertado usar modelos basados en trazado de rayos siempre que estos estén bien programados y tengan en cuenta el mayor número de variables posible.
- Es más fácil caracterizar una localización en la que no se interpongan ni objetos, estructuras o seres vivos que puedan modificar la trayectoria normal de las ondas electromagnéticas.
- Los modelos empíricos no tienen en cuenta fenómenos importantes en la transmisión por radio como son la reflexión, refracción y difracción.
- Hay modelos empíricos que se ajustan mejor a espacios abiertos y otros que se ajustan mejor a espacios más cerrados
- El modelo ITU-R P.1238 se ajusta mejor a las localizaciones amplias, por eso se ajusta más a estudios de RFID enfocados a la logística, cuyo principal escenario son almacenes caracterizados porque son espacios amplios.
- El modelo COST 231 y el de espacio libre son más eficaces en localizaciones más pequeñas y estrechas como es el caso del primer entorno estudiado, el pasillo.
- Los sistemas RFID no permiten lecturas a largas distancias por lo que es inviable implementar un sistema centralizado, en el que un solo lector controle todos los productos de un almacén.
- Tampoco es recomendable poner lectores por todo el local basándose en la distancia máxima de lectura para su colocación ya que esta es muy pequeña. Lo que supone poner un alto número de lectores, con su consecuente subida de presupuesto y los problemas de interferencias causado por la proximidad de los lectores.
- Es muy recomendable implementar un sistema en el que un operario equipado con un lector portátil identifique cada producto cuando sea necesario.
- Es importante ser consciente del nivel al que se quiere implantar el sistema, no es lo mismo hacerlo a nivel de pallet que a nivel de producto por que implementar un sistema a nivel de producto implica un flujo mayor de información con lo que el coste de los aparatos y software se incrementa y el sistema de gestión de datos tiene que ser más efectivo.
- Cuando se implanta el sistema RFID a nivel de producto también hay que tener en cuenta la naturaleza de este o de su embase, ya que puede absorber

la energía que llega a la etiqueta en lugar de reflejarla para que esta la absorba. Un ejemplo claro de esto es el caso de los líquidos mostrado en el estudio, en donde la etiqueta recibe menos potencia porque estos absorben las ondas electromagnéticas.

- Es importante hacer una elección correcta tanto de tag como de lector RFID basándose en la distancia de uso que requiere la actividad, no solo por el ahorro en recursos, también por seguridad.

## 7.-Líneas futuras

- Es interesante poder estudiar más entornos reales como el de la empresa disayt y estudiar más aplicaciones para la tecnología RFID en el entorno logístico.
- También resulta interesante modelar todos los entornos con técnicas de trazado de rayos, especialmente la empresa de logística.
- Por último, mejoraría sustancialmente los resultados del estudio el trabajar con equipos reales (lectores y etiquetas) para poder tener una mejor idea tanto del funcionamiento como de los rangos de cobertura.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Jose Maria Hernando Rabanos, *Transmisión por radio*, Editorial Universitaria Ramos Areces, 2008
- [2] Curt Levis, Joel T. Johnson, Fernando L. Teixeira, *Radiowave Propagation: Physics And Applications*, Editorial John Wiley 2010
- [3] Jie Wei, Stephen C.H. Leung, S.C.Lee, Bee Kwok, *Simulation of RFID-enabled Loading Strategy for Outbound Logistic: A Case Study in Hong Kong*, Computer & Industrial Engineering, 2009
- [4] Mengru (Arthur) Tu, Jia-Hong Lin, Ruey-Shun Chen, Kai-Ying Chen, and Jung-Sing Jwo, *Agent-Based Control Framework for Mass Customization Manufacturing With UHF RFID*, Systems Journal, IEEE
- [5] P. Foster MSc, A. Sindhu, D. Blundell, *A Case Study to Track High Value Stillages using RFID for an Automobile OEM and its Supply Chain in the Manufacturing Industry*, 2006 IEEE International Conference
- [6] Jussi Nummela, Student Member, IEEE, Leena Ukkonen, Member, IEEE, Lauri Sydänheimo, Member, IEEE, Markku Kivikoski, Member, IEEE, *Exploiting Passive UHF RFID in Paper Industry— Case Study: End User*, 2008 IEEE International Conference
- [7] <http://www.eveliux.com/mx/tipos-de-propagacion.php>
- [8] <http://bieec.epn.edu.ec:8180/dspace/bitstream/123456789/946/5/T10709CAP1.pdf>
- [9] Digital Mobile Radio Towards Future Generation System, COST-231 FINAL REPORT, Chapter 4, 4.7 Indoor Propagation Models.
- [10] Recomendación UIT-R P.1238-5, Datos de propagación y métodos de predicción para la planificación de sistemas de radiocomunicaciones en interiores y redes de radiocomunicaciones de área local en la gama de frecuencias de 900 MHz a 100 GHz.
- [11] D.M.J. Devarsirvatham, C. Banerjee, M.J. Krain, D.A. Rappaport, *Multi-frequency radiowave propagation measurements in the portable radio environment*, In Conference Record of the IEEE International Conference on Communications'90, volume 4, Abril 1990
- [12] J.M. Keenan and A.J. Motley, *Radio coverage in buildings*, British Telecom Technology Journal, 8(1):19-24, Enero 1990.

[13] <http://www.home.agilent.com/agilent/product.jsp?nid=-34372.799348.00&lc=eng&cc=US>

[14] [http://www.rohde-schwarz.es/es/producto/Test\\_y\\_Medida/signal\\_generators/SMY.html](http://www.rohde-schwarz.es/es/producto/Test_y_Medida/signal_generators/SMY.html)

[15] <http://www.motorola.com/business/v/index.jsp?vnextoid=ea2b3acf35e95110VgnVCM1000008406b00aRCRD>

[16] <http://es.rs-online.com/web/542563.html#>

# ANEXO I

# ANÁLISIS DE DETECTABILIDAD DE SEÑALES RFID E IMPLICACIONES DE SEGURIDAD EN ENTORNOS INTERIORES.

Erik Aguirre<sup>(1)</sup>, Juan Salaberri<sup>(1)</sup>, Jorge Becerra<sup>(1)</sup>, Víctor Torres<sup>(1)</sup>, Daniel Chávarri<sup>(2)</sup>, Francisco Falcone<sup>(1)</sup>  
 aguirrerik@gmail.com, juansalaberri@hotmail.com, jab\_t\_23@hotmail.com, victor\_torres85@hotmail.com,  
 francisco.falcone@unavarra.es  
<sup>(1)</sup> Dpto. de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, UPNA, Pamplona, Navarra.  
<sup>(2)</sup> s21sec Security Labs, Orcoyen, Navarra.

*Abstract.* In this work, detectability in RFID scenarios is assessed. In order to analyze privacy aspects, radio channel is characterized by means of empirical channel models as well as by deterministic 3D raytracing. Measurements of an indoor scenario are also presented in order to validate previous simulation results. These results determine the possible detection regions and offer valuable information in security assessment of clients employing RFID systems in their logistic process.

## I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años los procedimientos de identificación automática (Auto-Id) se han hecho muy populares en muchos y diversos campos de la vida cotidiana, desde los ya clásicos códigos de barras hasta el control de los pacientes de un hospital [1].

La identificación por radiofrecuencia (RFID) es una de las herramientas de identificación automática más potente y eficaz, con una importante progresión en los últimos años y un futuro prometedor. RFID es la tecnología y el conjunto de dispositivos que se valen de las ondas electromagnéticas para intercambiar datos de identificación [1].

El esquema fundamental del RFID está compuesto por un tag o transpondedor que es el elemento que se incorpora al individuo u objeto a identificar, el medio por el que se transmite la información, en este caso es un medio no guiado, la antena lectora de radiofrecuencia (lector), y por último encontramos un ordenador central o base de datos desde donde se controla el funcionamiento del conjunto de los elementos y se realiza la gestión de datos (Fig 1).

Hoy en día los sistemas RFID pueden verse en diversos entornos cotidianos, como por ejemplo el ámbito sanitario para la localización y seguimiento de neonatos, en el sector logístico para el control de calidad, la producción y la distribución, en un ámbito más familiar como es el urbano, donde es posible acceder a recintos como gimnasios e incluso utilizar el transporte público con el uso de tarjetas que utilizan esta tecnología.

Una de las cuestiones que subyace en el uso de dicha tecnología son los aspectos ligados a la seguridad en las mismas, debido a la posibilidad inherente de cualquier sistema inalámbrico de ser detectado de manera no deseada

[2]. Con el fin de analizar la seguridad y detectabilidad de la tecnología RFID en entornos interiores se realizan medidas experimentales y estudios empíricos cuyos resultados se muestran en los puntos subsiguientes.

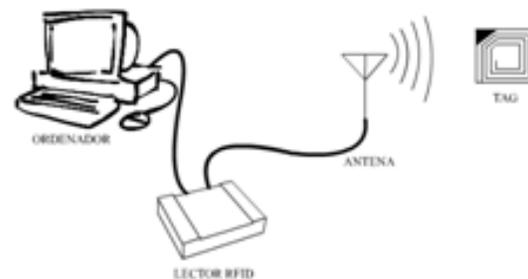


Fig. 1. Esquema ilustrativo del funcionamiento de la tecnología RFID

## II. MODELADO DE RADIOFRECUENCIA EN INTERIORES

Con el fin de poder analizar la detectabilidad del sistema RFID, se plantea su análisis en términos de balance de enlace (poniendo énfasis en la componente de pérdidas por radiopropagación) en entornos interiores. Los escenarios que se han definido han sido dos, ambos situados en el edificio departamental de Los Tejos, perteneciente al campus de la Universidad Pública de Navarra. El primero de ellos es el pasillo de la primera planta de dicho edificio (descrito en la Fig. 2, donde el círculo representa la antena emisora, y las "X" representan los puntos en los que colocamos la antena receptora), y el segundo uno de los laboratorios de dicho edificio, cuyo esquema se puede ver en la Fig. 3.

Con el fin de poder estimar el radio de detectabilidad de la señal RFID en el entorno interior que ocupa este trabajo, se han realizado simulaciones sobre un conjunto de modelos empíricos habituales. Respecto a los modelos empíricos cabe destacar, que los resultados obtenidos son comparables a los

resultados experimentales con excepción de los modelos ITU-R P 1238 [2, 3] y Linear Path Attenuation Model, debido a que no son adecuados para una caracterización interior. Los resultados obtenidos pueden verse desde la figura 5 a la figura 9. En dichas figuras se puede observar que el ajuste es mejor en la zona central en comparación con las zonas laterales, debido a la menor influencia de efectos no ligados de manera implícita al modelo (i.e., scattering difuso, difracción de bordes, consideraciones de materiales del escenario, etc.).

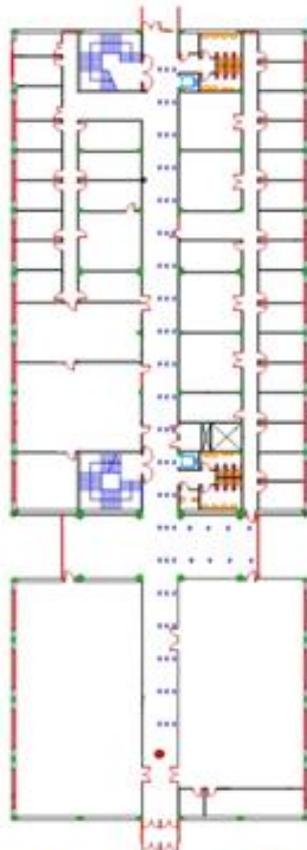


Fig. 2. Planta del primer piso del edificio de los tejos donde se realizan algunas de las medidas experimentales

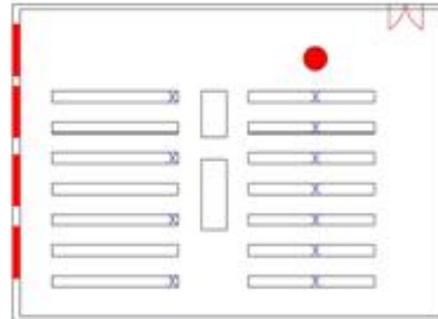


Fig. 3. Planta del laboratorio de la segunda planta del edificio de los tejos donde se realizan algunas de las medidas experimentales

Como se está simulando un sistema RFID, se coloca el generador a la frecuencia de 868 MHz con una potencia transmisora de 20dBm. En la primera localización, realizamos las medidas únicamente en una mitad del pasillo, debido a su simetría. El montaje experimental se puede observar en la Fig. 4.



Fig. 4. Antena emisora y generador con los que se realizan las medidas experimentales

Las medidas alineadas con la antena transmisora, tienen una distancia entre ellas de 3,35 metros, coincidente con marcas constructivas preestablecidas de manera previa.

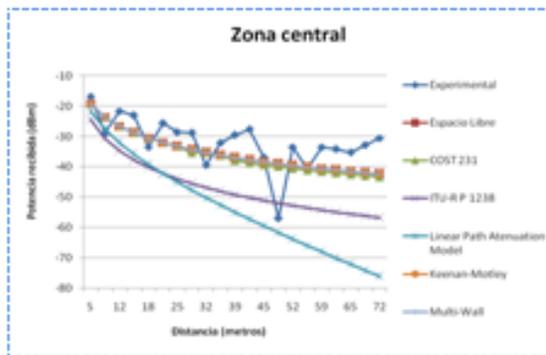


Fig. 5. Resultados experimentales y empíricos en la zona central del pasillo

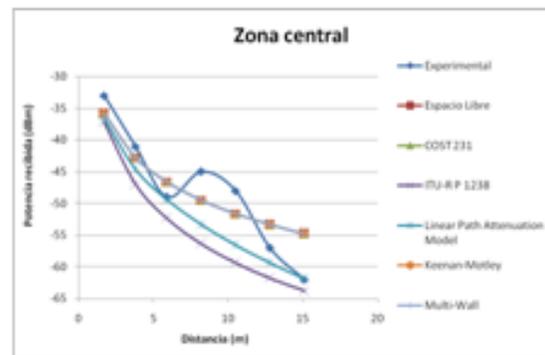


Fig. 8. Resultados experimentales y empíricos en la zona central del laboratorio

Tal y como cabe esperar, la potencia recibida presenta una dependencia (potencia  $k$  variable) con la distancia entre transmisor y receptor. Es destacable el ligero incremento de potencia en las medidas mostradas en la zona final de la curva, debido a las contribuciones constructivas de las múltiples reflexiones en la de las paredes en la parte final del pasillo.

Con el fin de poder verificar la posibilidad de lectura de una etiqueta en un sistema RFID operativo, se han obtenido valores típicos de sensibilidad para equipos disponibles comercialmente. Dichos valores se muestran en la Tabla 1, en donde se puede apreciar una diferencia notable entre los valores de lectores fijos y aquellos que pueden ser llevados de manera autónoma por el recinto de trabajo.

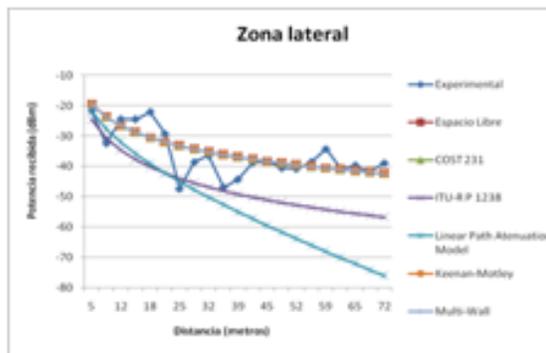


Fig. 6. Resultados experimentales y empíricos en la zona entre el canto del pasillo y la pared

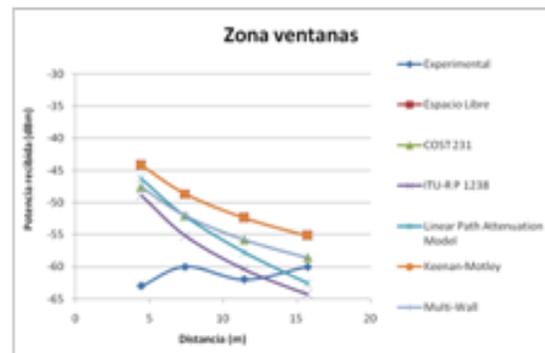


Fig. 9. Resultados experimentales y empíricos en la zona de las ventanas del laboratorio

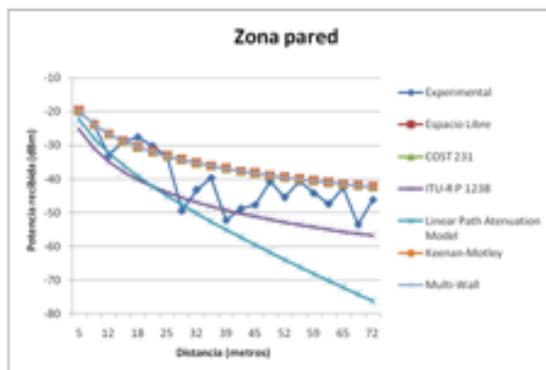


Fig. 7. Resultados experimentales y empíricos en la pared del pasillo

	Lectores Fijos		Lectores Móviles	
	Tap-Reader HF	Tap-Reader LP	Carrollia	Manual
Sensibilidad (dBm)	-30	-30	-70	-30

Tabla 1. Sensibilidades de diferentes lectores RFID

Como se puede ver en la tabla, emitiendo a una potencia nominal de 20 dBm sería factible la lectura no deseada de una etiqueta RFID a largas distancias con un lector, ya que la sensibilidad de dos de ellos supera los -65 dBm, el pico más bajo de las mediciones experimentales, en las dos localizaciones. Esto supondría una vulnerabilidad en la seguridad del sistema en un caso real en cualquiera de sus aplicaciones, ya que un lector intruso situado más lejos podría detectar la señal emitida.

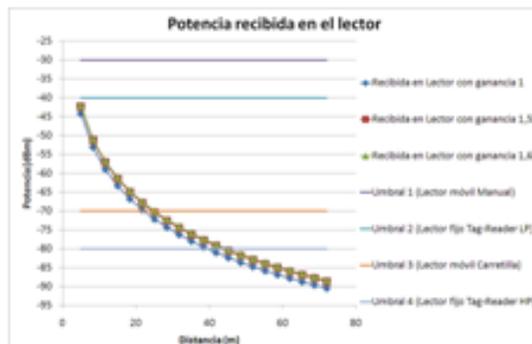


Fig. 10. Comparativa de Sensibilidad y distancia de lectura o posible detección.

Con el fin de poder analizar los rangos previstos de lectura, se ha modelado mediante una aproximación de sección radar simple el comportamiento de lectura de varias etiquetas básicas del sistema RFID. Se comprueba en la figura 10 situada sobre estas líneas, donde se puede ver la potencia recibida en un lector RFID utilizando tres TAGs de diferentes ganancias, que el sistema funcionará con un lector móvil de carretilla hasta una distancia aproximada de 20 metros, mientras que con un lector fijo del tipo Tag-Reader HP se incrementa la distancia de funcionamiento a 40 metros, de ahí en adelante no se podrá llevar a cabo un sistema RFID en estas localizaciones.

Como ya se ha comentado, los modelos empíricos no tienen en cuenta fenómenos de propagación muy relevantes en escenarios interiores como son reflexiones, refracciones, difracciones, etc [2]. Esto explica las diferencias entre los resultados experimentales y los empíricos. Mientras que las curvas empíricas tienen tendencias suaves los resultados medidos presentan saltos abruptos consecuencia de las sumas en fase y contrafase producidas por los fenómenos antes mencionados. Es necesario emplear cálculo determinista para ajustar más las simulaciones a los valores reales. En este trabajo se ha utilizado una herramienta desarrollada en Matlab para calcular radiopropagación en entornos interiores basada en trazado de rayos tridimensional en formato Ray Launching [4]. Esta herramienta tiene en cuenta las reflexiones y las refracciones que se producen en el escenario y todos los materiales que componen las paredes del mismo. A modo cualitativo se muestra en la Figura 11 el cálculo de trazado de rayos para el escenario del pasillo.

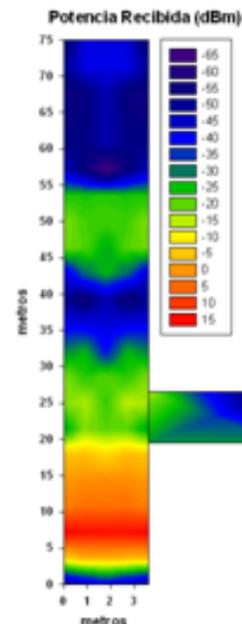


Fig. 11. Potencia recibida en el pasillo calculada con trazado de rayos

Como se puede observar en la figura anterior hay zonas donde se producen caídas de niveles de potencia que los modelos empíricos no pueden predecir. Cabe destacar como la potencia al final del pasillo aumenta ligeramente al igual que lo hacen los resultados experimentales. De esta forma se puede comprobar como el cálculo de la potencia es más exacto con la consecuente carga computacional que no es necesaria en los modelos empíricos y si en los deterministas.

### III. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha analizado la característica de radiopropagación en entornos interiores para su aplicación en sistemas RFID. Se han efectuado cálculos sobre modelos empíricos y cálculo basado en trazado de rayos 3D con el fin de modelar el posible radio efectivo de lectura y cobertura de dichos sistemas. Estos datos, contrastados con medidas en dos entornos diferenciados, muestran la necesidad de estimar dichos entornos de cobertura, con el fin de poder detectar posibles vulnerabilidades por detección no deseada en sistemas RFID, sirviendo por lo tanto como ayuda en la valoración de seguridad de los mismos.

### REFERENCIAS

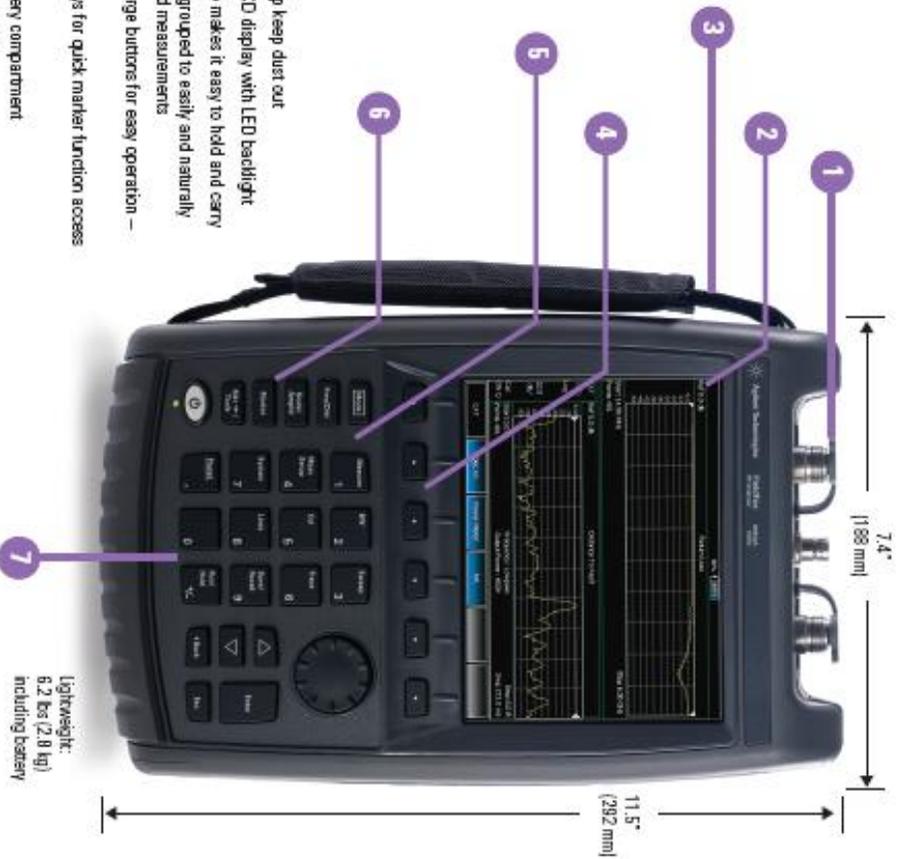
- [1] Klaus Finkenzeller, *RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification*, Second Edition.
- [2] José María Hernández Rábano, *Transmisión por Radio*, Quinta Edición.
- [3] Recomendación ITU-R P.1238-5, Datos de propagación y métodos de predicción para la planificación de sistemas de radiocomunicaciones en interiores y redes de radiocomunicaciones de área local en la gama de frecuencias de 900 MHz a 100 GHz.
- [4] S. Y. Seidel, T. S. Rappaport, "Site-specific propagation prediction for wireless in building personal communication system design", *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol 43, pp. 879-891, Nov. 1994.

## ANEXO II

**Quick Fact Sheet**

**Agilent N9912A FieldFox RF Analyzer**

The world's most integrated RF analyzer



**Features:**

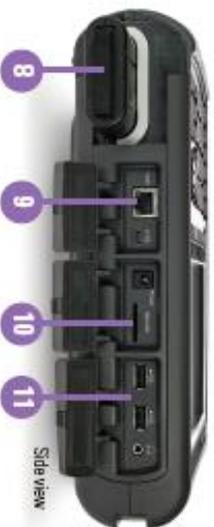
1. Connector covers help keep dust out
2. Anti-glare 6.5 inch LCD display with LED backlight
3. Convenient side strap makes it easy to hold and carry
4. Task-driven keys are grouped to easily and naturally perform standard field measurements
5. Portrait design and large buttons for easy operation – even with gloves on
6. Dedicated marker keys for quick marker function access
7. Backlit keypad
8. Easily accessible battery compartment
9. LAN port for fast data transfer
10. SD flash card slot for additional data storage
11. USB ports for convenient data transfer

Lightweight:  
 6.2 lbs (2.8 kg)  
 including battery



**Key measurements:**

- Cable and antenna test (distance to fault, return loss etc.)
- Cable loss measurement
- Insertion loss and transmission measurement
- Spectrum analyzer
- Interference analyzer, spectrogram, waterfall display, record and playback
- Channel power, adjacent channel power, and occupied bandwidth
- LTE, CDMA, GSM, TD-SCDMA, cdma2000, power suite measurements
- AM/FM tune and listen
- Power meter with USB power sensor
- Vector network analyzer with Smith chart display
- Vector voltmeter, Agilent/HP 85039A cable trimming application



Side view



**Agilent Technologies**

## Quick Fact Sheet

### FieldFox key specifications

Function	Description
<b>Cable and antenna analyzer</b>	
Frequency	2 MHz to 6 GHz
Speed	Less than 1.5 ms per point, up to 1001 points
Directivity	> 42 dB
Dynamic range	72 dB
<b>Spectrum analyzer</b>	
Frequency	100 kHz to 6 GHz, usable to 5 GHz
Speed	750 ms (span: 20 MHz)/BW: 3 MHz, VBW: 3 kHz, 1 second full span (6 GHz)
DANL	-140 dBm
Phase noise	-88 dBc @ 10 kHz
TOT	-96 dBc, +18 dBm
<b>Internal storage</b>	Minimum 16 MB, up to 1000 traces
<b>External storage</b>	1 x mini SD slot and 2 x USB 2.0
<b>Connectivity</b>	2 x USB 2.0, 1 x mini USB, 1 x LAN
<b>Display</b>	Bright 6.5" color anti-glare LCD
<b>Environmental</b>	Meets MIL-PRF-28800F Class 2 specification
<b>Temperature</b>	Operating: -10 °C to +55 °C, Non-operating: -51 °C to +71 °C
<b>Internal battery</b>	Lithium Ion, 4 hours operating time. Replace easily in the field without tools.
<b>Dimensions</b>	11.5" X 7.4" X 2.8" (292 mm X 188 mm X 72 mm)
<b>Weight</b>	Lightweight 6.2 lbs/2.8 kg including battery

The FieldFox base unit consists of a 4 GHz cable and antenna analyzer.

The following accessories are included as standard:

- AC/DC adapter
- Soft carrying case
- Battery
- Quick Reference Guide
- User manual

### FieldFox options

Model No.	Description
Option 104	4 GHz cable and antenna analyzer. This option is standard in the base price.
Option 106	6 GHz cable and antenna analyzer
Option 110	Transmission measurement (for insertion loss or gain measurement)
Option 111	QuickCal
Option 230	4 GHz spectrum analyzer (requires Option 104)
Option 231	6 GHz spectrum analyzer (requires Option 106)
Option 235	Pre-amplifier for spectrum analyzer (requires Option 230 or 231)
Option 236	Interference analyzer
Option 302	External USB power sensor support
Option 303	Network analyzer capability
Option 308	Vector voltmeter

Technical data, availability and pricing subject to change without notice.

© Agilent Technologies, Inc. 2010. Printed in USA, July 8, 2010  
 59900-3344EN

### FieldFox Accessories (N9910X)

Model No.	Description
N9910X-800	T-Calibration Kit, DC-6 GHz, Type-N(m)
N9910X-801	T-Calibration Kit, DC-6 GHz, Type-N(f)
N9910X-802	T-Calibration Kit, DC-6 GHz, 7/16 DIN(m)
N9910X-803	T-Calibration Kit, DC-6 GHz, 7/16 DIN(f)
N9910X-810	Rugged phase stable cable, Type-N(m) to Type-N(m), 5 ft
N9910X-811	Rugged phase stable cable, Type-N(m) to Type-N(f), 5 ft
N9910X-812	Rugged phase stable cable, Type-N(m) to Type-N(m), 12 ft
N9910X-813	Rugged phase stable cable, Type-N(m) to Type-f, 12 ft
N9910X-820	Antenna, directional, multiband, 800-2500 MHz, 10 dBi
N9910X-821	Antenna, telescopic whip, 70 MHz - 1 GHz
N9910X-843	Coaxial adapter, Type-N(m) to 7/16 DIN(f)
N9910X-845	Adapter kit - Type-N(f) to 7/16(f), Type-N(f) to 7/16(m), Type-N(f) to Type-N(f)
N9910X-860	Fixed attenuator, 40 dB, 100 W, DC-3 GHz, Type-N(m) to Type-N(f)
N9910X-861	Fixed attenuator, 40 dB, 50 W, DC-6.5 GHz, Type-N(m) to Type-N(f)
N9910X-870	Extra battery
N9910X-872	External battery charger
N9910X-873	AC/DC adapter
N9910X-874	External bias-tee, 2.5 MHz to 6 GHz, 1 W, 0.5 A
N9910X-875	DC car charger and adapter
N9910X-881	Hard travel case

#### Key differentiators:

- Integrated QuickCal calibrates without a calibration kit
- Immediate calibration with CalReady
- 50 percent faster than traditional handheld instruments
- Superior dynamic range (96 dB) and sensitivity (-140 dBm) in the spectrum analyzer modes; high dynamic range ideal for interference detection
- Easy-to-use, task driven user interface

#### Optimized for the following applications:

- Wireless service providers
- Aerospace and defense customers
- TV and broadcasting customers
- Contractor for the above

#### Recommended service options

Additional two years of Return-to-Agilent warranty.  
 Additional two years of Return-to-Agilent calibrations  
 For more information go to [www.agilent.com/find/removaldoc](http://www.agilent.com/find/removaldoc)



**Agilent Technologies**

## ANEXO III



**SMY – the ideal generator for receiver measurements ...**

Signal generators of the SMY family from Rohde&Schwarz are cost-effective instruments for testing AM, FM and QM receivers as well as for component measurements. Two models are available:

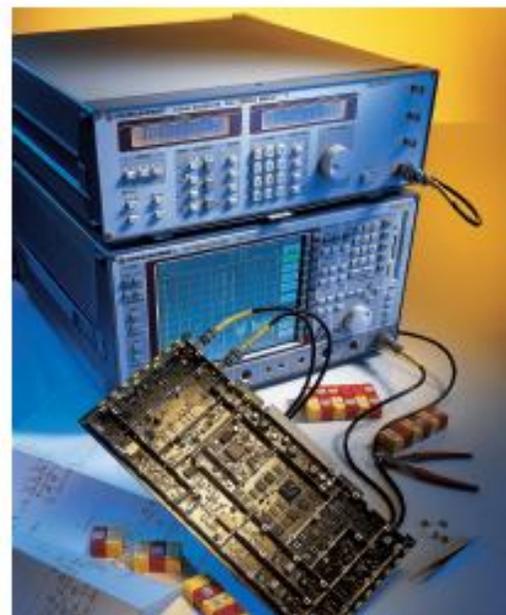
- SMY01 with a frequency range from 9 kHz to 1040 MHz
- SMY02 from 9 kHz to 2080 MHz.

Designed exclusively for the main applications of signal generators by cutting out the unnecessary, SMY features an outstanding price/performance ratio. Thanks to its comprehensive basic features and excellent signal characteristics, it is an economical solution for universal use in lab, production and servicing environments.

- Level range -140 dBm to +13 dBm (19 dBm overrange \*)], sufficient even for receivers of highest sensitivity
- High level accuracy and low RF leakage allowing accurate and undegraded sensitivity measurements
- FM-DC with high accuracy of carrier frequency for testing pagers and receivers fitted with digital squelches
- Low SSB phase noise and high spurious rejection for all in-channel and blocking measurements
- Low residual FM affording ample of margin for S/N measurements
- Modulation generator 1 Hz to 500 kHz for modulation frequency response measurements
- Stereo channel separation of 50 dB and low harmonic distortion for testing FM stereo receivers

**... and for general-purpose applications**

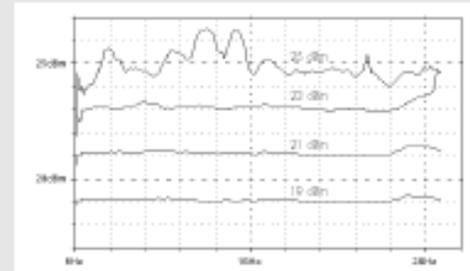
Thanks to the excellent spectral purity and the high accuracy of the carrier frequency with FM-DC, measurements on steep edged orystal filters are possible without any problems.



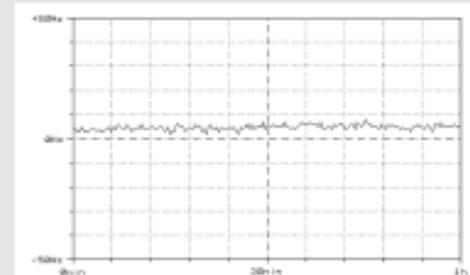
\*] With option SMYBa0 -134 dBm to +19 dBm (25 dBm overrange)



With option SMY-B40:  
 The overrange feature  
 for the output level  
 allows measurements  
 on high level mixers. To  
 the right output level ob-  
 tained with settings of  
 19 dBm, 21 dBm,  
 23 dBm and 25 dBm

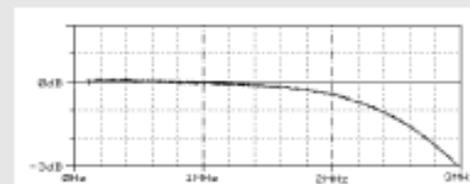


Accuracy of carrier  
 frequency with FM-DC,  
 long-term stability.  
 Settings: carrier  
 frequency = 1 GHz,  
 FM deviation = 50 kHz,  
 external FMDC

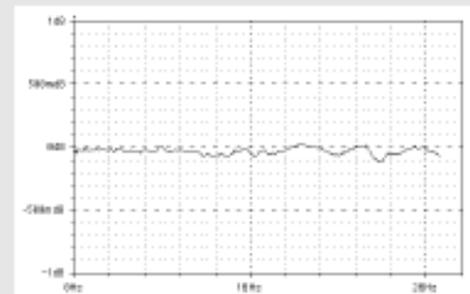


- Non-interrupting level setting over a range of 20 dB for reproducible measurement of squelch hysteresis
- Frequency resolution 1 Hz, suitable also for narrowband test items
- FM-DC, deviation up to 20 MHz for VCO simulation
- FM bandwidth 2 MHz for fast FSK and telemetry applications
- High output level up to 19 dBm (25 dBm with option SMY-B40) for component and overdrive testing
- AF synthesizer 1 Hz to 500 kHz, separate use as AF signal source for external applications possible, eg recording of AF frequency response
- Remote-control interface IEC 625/IEEE 488 for use in automatic test systems
- RF sweep
- Sequence function and SEQ input for semi-automatic use

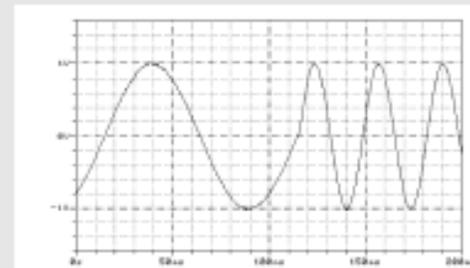
FM frequency  
 response of SMY.  
 Frequency modulation  
 is possible even at full  
 deviation up to high res-  
 olution frequencies



Level/frequency  
 response at 0 dBm  
 output level. The soft-  
 ware-supported level  
 correction reduces the  
 frequency response to  
 typically 0.1 dB



Phase-continuous  
 frequency change of  
 modulation generator.  
 To the right  
 frequency change from  
 10 Hz to 40 Hz



### Cost-saving synthesis concept

Single-loop synthesis is a concept that makes for simple and cost-effective circuit design and does not entail giving up high frequency resolution and short setting time. The fractional-N technique uses a fractional frequency division ratio, ie a frequency resolution of 1 Hz is obtained in spite of the high reference frequency. High reliability and light weight thanks to VLSI components are further advantages of this technique.

### Operation

The panel controls are ergonomically arranged so that there is no time wasted for familiarization. Operation is from the left to the right: parameters, data, units; each control is at its right place.

The patented, magnetically locking spinwheel is just as practical. Although easy to turn, each setting step is felt exactly by the user. Thus for instance it is not really necessary to observe the SMY display in the case of stepwise tuning. This means that the annoying procedure of looking back and forth between a

measuring instrument and the signal generator can be dispensed with. Naturally fast tuning and programming of the step width are also possible.

Frequently used settings can be stored and recalled any time. The memory saves up to 100 complete frontpanel setups.

### Low cost of ownership thanks to high reliability and easy maintenance

Like with all Rohde & Schwarz signal generators, the well-proven selftest facility is integrated in SMY monitoring continuously the signal generator status. If there are any malfunctions, these are immediately detected and reported in the form of error messages. The user thus has an effective protection against invalid measurements, should the generator ever fail.

Thanks to its advanced circuit design, SMY requires particularly little maintenance. Aging and drift are compensated for by control loops. Due to the few reference components, which are desi-

gned for maximum stability, calibration is required at intervals of 3 years only.

If the accuracy is required to be higher than the specified data, user-specific calibration values for frequency and level may be entered and stored at any time without opening the instrument.

### Further development of proven technology

Signal Generators SMY from Rohde & Schwarz stands for the economy class of generators. Well-proven features have been improved and unnecessary details omitted. It is the sum of its characteristics which makes SMY so attractive. Tangible for the user are the variety of facilities and versatility at an excellent price/performance ratio. SMY is the economical solution for universal use in lab, production and servicing environments.



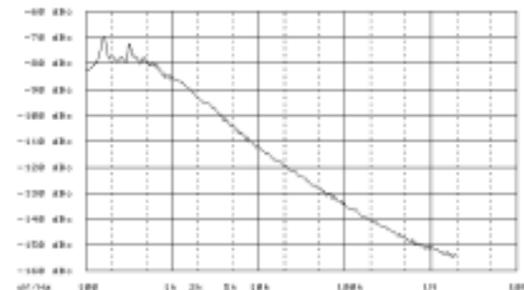
**Specifications**

<b>Frequency</b>		
Range	9 kHz to 1.04 GHz [SMY01] 9 kHz to 2.08 GHz [SMY02]	
Underranging without guarantee of specs	down to 5 kHz	
Resolution	1 Hz	
Setting time (to within <math>1 \times 10^{-2}</math> for $f > 0.5$ MHz or <math>< 70</math> Hz for $f < 0.5$ MHz)	<math>< 60</math> ms	
<b>Reference frequency</b>	<b>standard</b>	<b>option SMY-B1</b>
Aging (after 30 days of operation)	$1 \times 10^{-6}$ /year	$< 1 \times 10^{-6}$ /day
Temperature effect (0 to 55°C)	$2 \times 10^{-6}$	$< 5 \times 10^{-6}$
Warmup time	-	10 min
Output for internal reference		
Frequency	10 MHz	
Level (EMF, sine wave)	1 V (rms)	
Source impedance	50 $\Omega$	
Input for external reference		
Frequency	5 or 10 MHz $\pm 5 \times 10^{-6}$	
Input level	0.2 to 2 V (rms)	
Input impedance	200 $\Omega$	
<b>Spectral purity</b>	<b>standard</b>	<b>option SMY-B40</b>
Spurious		
Harmonics	<math>< -30</math> dBc for levels <math>< 10</math> dBm	<math>< -25</math> dBc for levels <math>< 10</math> dBm
Subharmonics		
$f \leq 1.04$ GHz	none	
$f > 1.04$ GHz	<math>< -40</math> dBc	
Nonharmonics at $> 5$ kHz from carrier		
$f \leq 1.04$ GHz	<math>< -70</math> dBc	
$f > 1.04$ GHz	<math>< -64</math> dBc	
Broadband noise with CW <sup>1)</sup> , carrier offset $> 1$ MHz, 1 Hz bandwidth		
$f = 1$ to 0.5 MHz	<math>< -135</math> dBc	
$f > 0.5$ MHz	<math>< -140</math> dBc	
SSB phase noise at 20 kHz from carrier, 1 Hz bandwidth, CW		
$f < 0.5$ MHz	<math>< -114</math> dBc	
100 MHz	<math>< -132</math> dBc	
500 MHz	<math>< -120</math> dBc	
1 GHz	<math>< -114</math> dBc	
2 GHz	<math>< -108</math> dBc	
Residual FM, rms, $< 1\%$ of maximum deviation, $f = 1$ GHz 0.3 to 3 kHz (CCITT)	<math>< 10</math> Hz, typ. 3 Hz	
0.03 to 20 kHz	<math>< 20</math> Hz, typ. 7 Hz	
Residual AM, rms (0.03 to 20 kHz) <sup>1)</sup>	<math>< 0.02\%</math>	
<b>Level</b>	<b>standard</b>	<b>option SMY-B40</b>
Range	-140 to +13 dBm	-134 to +19 dBm
Overranging without guarantee of specs	up to 19 dBm	up to 25 dBm, down to -140 dBm
Resolution	0.1 dB	
Total error for levels $> -127$ dBm <sup>1)</sup>		
$f < 1.04$ GHz	$\pm 1$ dB	
$f > 1.04$ GHz	$\pm 1.5$ dB	
Level flatness at 0 dBm <sup>1)</sup>	<math>< 1</math> dB, typ. <math>< 0.3</math> dB	
Output impedance	50 $\Omega$	
VSWR <sup>1)</sup>	<math>< 1.5</math> for $f \leq 1.04$ GHz <math>< 1.8</math> for $f > 1.04$ GHz	
Setting time (IEC/IEEE bus)	<math>< 25</math> ms (<math>< 10</math> ms with electronic level setting)	
Non-interupting level setting (ATTENUATOR MODE FIXED)		
Setting range	0 to -20 dB	
<b>Overload protection</b>	protects the instrument against externally applied (50 $\Omega$ source) RF power and DC voltage	
Max. RF power		
SMY01	30 W	
SMY02	50 W	
Max. DC voltage	35 V	
Max. pulse loading capacity (pulse width <math>< 10</math> $\mu$ s)	1 nWs or 150 V [ $V_p$ ]	

**Simultaneous modulation** any combination of AM, FM ( $\oplus$ M) and pulse modulation

<b>Amplitude modulation</b>		
Modes	Internal, external AC/DC	
Modulation depth	0 to 100% <sup>2)</sup>	
Resolution	0.1%	
Setting error at 1 kHz (m <math>< 80\%</math>) <sup>1)</sup>	<b>standard</b>	<b>option SMY-B40</b>
	<math>\pm 4\%</math> of reading $\pm 1\%$	<math>\pm 4\%</math> of reading $\pm 3\%$
AM distortion at 1 kHz <sup>1)</sup>		
$f < 10$ MHz	m = 30%	<math>< 1\%</math>
	m = 80%	<math>< 2\%</math>
$f > 10$ MHz	m = 30%	<math>< 1\%</math>
	m = 80%	<math>< 2\%</math>
Modulation frequency response flatness (m = 60%) <sup>1)</sup>		
30 Hz (DC) to 10 kHz		<math>< 0.4</math> dB
10 Hz (DC) to 50 kHz		<math>< 3</math> dB
Incidental $\oplus$ M with AM (30%), AF = 1 kHz		<math>\pm 0.2</math> rad
		<math>\pm 0.4</math> rad of $f > 1.04$ GHz [SMY02]
Modulation input (AMEXT)		
Input impedance	100 k $\Omega$ ; 600 $\Omega$ jumper-selected	
Input voltage for selected modulation depth	1 V (peak) (for inaccuracy $> 3\%$ : high/low indication)	

<b>Frequency modulation</b>		
Modes	Internal, external AC/DC	
Maximum deviation for carrier frequency		
<math>< 0.5</math> MHz	10 MHz	
0.5 to 130 MHz	1.25 MHz	
130 to 260 MHz	2.5 MHz	
260 to 520 MHz	5 MHz	
520 to 1040 MHz	10 MHz	
1040 to 2080 MHz	20 MHz	
Resolution	<math>< 1\%</math> min. 10 Hz	
Setting error at AF = 1 kHz	<math>\pm 3\%</math> of reading + 20 Hz	
FM distortion at AF = 1 kHz and 3% of maximum deviation	<math>\pm 0.3\%</math>, typ. 0.1%	
Modulation frequency response flatness		
10 Hz (DC) to 2 MHz	<math>< 3</math> dB, typ. 1 dB	
Incidental AM at AF = 1 kHz, $f > 1$ MHz, 40 kHz deviation	<math>< 0.1\%</math>	
Stereo modulation at 40 kHz deviation, AF = 1 kHz	> 50 dB	
Stereo separation <sup>4)</sup>		
S/N ratio		
unweighted	> 70 dB	
weighted	> 70 dB	
typ. 0.1%		
Harmonic distortion		
Carrier frequency offset with FM/DC <sup>4)</sup>	<math>< 1</math> Hz + 0.1% of deviation	
Modulation input		
Input impedance	FM/ $\oplus$ M EXT 100 k $\Omega$ ; 600 $\Omega$ jumper-selected	
Input voltage for selected deviation	1 V (peak) (for inaccuracy $> 3\%$ : high/low indication for AF = 10 Hz to 100 kHz)	

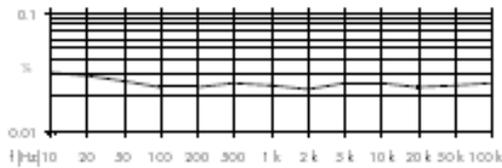


SSB phase noise at 1 GHz (CW)

<b>Phase modulation</b>	
Modes	Internal, external AC
Maximum deviation for carrier frequency	
<0.5 MHz	200 rad
0.5 to 130 MHz	25 rad
130 to 200 MHz	50 rad
200 to 520 MHz	100 rad
520 to 1000 MHz	200 rad
1000 to 2080 MHz	400 rad
Resolution	<1%, min. 0.01 rad
Setting error at AF = 1 kHz	<5% of reading + 0.02 rad
FM distortion of AF = 1 kHz and half the maximum deviation	<0.5% (typ. 0.2%)
Modulation frequency response flatness	
20 Hz to 20 kHz	<3 dB (typ. 1 dB)
Modulation input	FMT/EXT
Input impedance	100 k $\Omega$ , 600 $\Omega$ (impedance selected)
Input voltage for selected deviation	1 V (peak) (for inaccuracy >3%: high/low indication)

<b>Pulse modulation</b>	<b>standard</b>	<b>option SMY-B40</b>
Modes	external	external
On/off ratio	>80 dB	>70 dB at 70 MHz, linearly decreasing to >65 dB at 520 MHz, >65 dB at 800 MHz, linearly decreasing to >35 dB at 2080 MHz
Rise/fall time (10/90%)	typ. 4 $\mu$ s	<20 ns
Pulse delay	typ. 3.5 $\mu$ s	<200 ns
Modulation input	BLANK	PULSE
Input impedance	10 k $\Omega$	10 k $\Omega$
Input level, standard	TTL/HC logic signal, polarity selectable	TTL/HC logic signal, polarity selectable
Input level, option SMY-B40	TTL/HC logic signal, RF ON at high, RF ON at low (impedance selected)	

<b>Internal modulation generator</b>	
Frequency range	1 Hz to 500 kHz
Resolution	0.1 Hz
Display	7 digits, floating point
Frequency error	<5 x 10 <sup>-5</sup>
Frequency response flatness	
up to 50 kHz	<0.2 dB
up to 100 kHz	<0.3 dB



Typical harmonic distortion of AF synthesizer as a function of frequency

THD (20 Hz to 100 kHz)	<0.1%
Output voltage	1 V (peak) $\pm$ 1% R <sub>L</sub> <10 $\Omega$ , R <sub>L</sub> >200 $\Omega$
Frequency setting time	<10 ms (after receiving last IEC/IEEE-bus character)

<b>RF sweep</b>	
Modes	digital sweep in discrete steps
Sweep range and step width	automatic, linear
Step duration	user selected
Resolution	10 ms to 5 s
Resolution	1 ms

<b>Memory</b>	non-volatile, for 100 instrument setups
---------------	---

<b>Remote control</b>	
System	IEC 025 (IEEE 488)
Connector	Amphenol, 24-contact
IEC/IEEE-bus address	0 to 30
Interface functions	SH1/AH1/To/Ld/SR1/BL1/PPD/DC1/D10/CD

**General data**

<b>Temperature range</b>	
Guaranteed specs	0 to 55 °C; complying with IEC 68-2-1 and IEC 68-2-2
Storage temperature	-40 to +70 °C

<b>Climatic conditions</b>	
Humidity	95% relative humidity at +40 °C; complying with IEC 68-2-3

<b>Mechanical resistance</b>	
Sine wave vibration	5 to 150 Hz, max. 2 g at 55 Hz, max. 0.5 g in range 55 to 150 Hz, complying with IEC 68-2-6, IEC 1010-1 and MIL-28800D, class 5

<b>Electromagnetic compatibility</b>	
RF leakage	complying with EN 50081-1 and EN 50082-1 (EMC Directives of EU) <0.1 $\mu$ V (measured with a two-turn coil of 2.5 cm in diameter at a distance of 2.5 cm from any point of enclosure)
Radiated susceptibility	10 V/m

<b>Power supply</b>	
	100 V/230 V (AC) -10 to +15%, 120 V/220 V (AC) -12.5 to +10%, 47 to 440 Hz, max. 120 VA

<b>Safety</b>	complying with EN 61010-1
---------------	---------------------------

<b>Dimensions (W x H x D)</b>	
SMYD1	435 mm x 147 mm x 350 mm
SMYD2	435 mm x 147 mm x 400 mm

<b>Weight</b>	12 kg (SMYD1), 13 kg (SMYD2)
---------------	------------------------------

**Ordering information**

<b>Signal Generator</b>	SMYD1	10.62.5502.11
	SMYD2	10.62.5502.12

<b>Accessories supplied</b>	power cord, operating manual
-----------------------------	------------------------------

<b>Options</b>		
Reference Oscillator OCXO	SMY-B1	10.62.7505.02
Rear-Panel Connectors for RF and NF	SMY-B10	10.62.8001.02
Pulse Modulator and High Output Power <sup>1)</sup>	SMY-B40	10.62.9008.02

<b>Recommended extras</b>		
19" Rack Adapter	ZZA-93	08.96.4892.00
Service Kit	SMY-Z2	10.62.7805.02
Service Manual		10.62.5583.24

<sup>1)</sup> Valid for levels  $\geq$ -127 dBm ( $\geq$ -121 dBm with option SMY-B40), not with special function «non-interrupting level setting».  
<sup>2)</sup> The modulation depth selectable within the guaranteed AM specifications linearly decreases for levels from 7 to 13 dBm (13 to 19 dBm with option SMY-B40). A status message appears if the modulation depth is too high.  
<sup>3)</sup> Does not apply to special function «AUC – bandwidth, narrow».  
<sup>4)</sup> Valid after calibration for one hour and for temperature variations <5 °C.  
<sup>5)</sup> To be retrofitted by authorized service centers only.



ROHDE & SCHWARZ GmbH & Co. KG · Mühlabergstraße 15 · D-81671 München  
 P.O.B. 801469 · D-81614 München · Telephone +49 89 41290 · Fax +49 89 4129-3567 · Internet: <http://www.rsd.de>

Printed in Germany 1 1 07 (Pb, we)

FD 7 57 380 5 21 · Printed on chlorine-free paper · Subject to change · Data without tolerance typical values

## ANEXO IV

**AN720**

**Compact Rugged Indoor-Outdoor\* Antenna**



Physical Characteristics	
Dimensions:	5.2 in. L x 5.2 in. W x 0.7 in. D 132.8 mm L x 132.8 mm W x 18.1 mm D
Weight:	0.8 lbs./0.37 kg
User Environment	
Frequency Range:	US and Canada: 900-928 MHz Europe: 865-868 MHz
Operating Temperature:	-22° to +158° F/-30° to +70° C
Storage Temperature:	-40° to +185° F/-40° to +85° C
Connector:	Type "N" female
Gain:	US/Canada: 3dBIL Europe: 3.5 dBIL
Return Loss (VSWR):	1.5:1
Front to Back Ratio:	8 db
Nominal Impedance:	50 Ohm
Beam Width:	100°
Polarization:	Circular (L) left
Power:	10 watts
Axial Ratio:	2 dB
Mounting:	2 threaded studs (rack mount); includes articulating mount
Enclosure rating:	IP67
Impact Resistance:	1.0 lbs./0.46 kg; Ball drop — 24 in./60.96 cm
Vibration:	MILSTD-810
Shock:	IEC-68-2-27
Humidity:	IEC-68-2-30
Lightning Protection:	DC grounded

**AN480**

**High-Performance Worldwide Indoor Wide Band Antenna\***



Physical Characteristics	
Dimensions:	Without mounting screws: 10.2 in. L x 10.2 in. W x 1.92 in. D 25.91 cm L x 25.91 cm W x 3.95 cm D With mounting screws: 10.2 in. L x 10.2 in. W x 1.98 in. D 25.91 cm L x 25.91 cm W x 5.03 cm D
Weight:	2.5 lbs./1.13 kg
Polarization:	LHCP and RHCP
User Environment	
Frequency:	865-968 MHz
Environmental Sealing:	IP54
Connectors:	Type "N" female
Max. VSWR Free Space:	1.22:1
Max. VSWR Ground at .15 Meter:	1.3:1
Nominal Impedance:	50 Ohm
Horizontal 3 dB Beam Width:	65°
Vertical 3 dB Beam Width:	65°
Gain:	6 dBil max.
Axial Ratio:	1.5 dB max.
DC Resistance:	10K Ohm
Front to Back Ratio:	18 dB
Power:	2 Watts
Transport Vibration:	IEC-68 series
UV Rating:	F2 per UL 746C

\* NOTICE: Repairs of these products may require the use of Motorola proprietary parts (and/or Motorola proprietary information). Motorola will sell these parts (and provide this proprietary information) only to end-user customers for self-service. Applicable in the U.S. For all other countries, please contact your Motorola account manager or the local Motorola Customer Service representative in your area for further details.

# ANEXO V



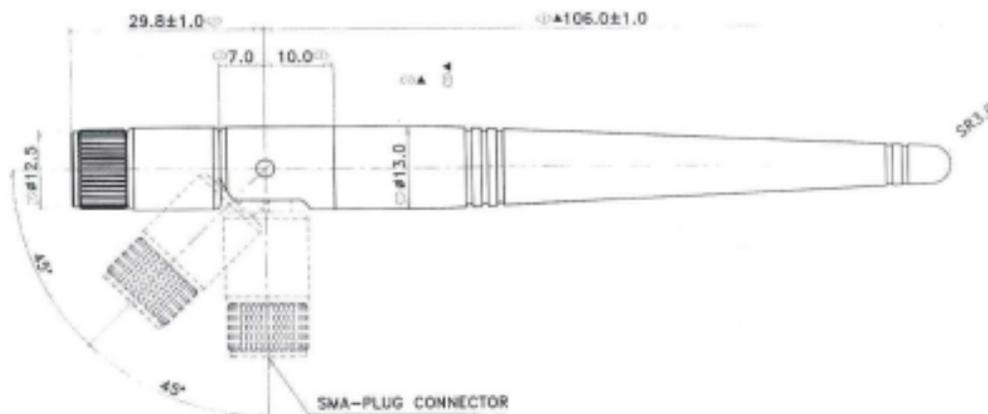
# FLEXI-SMA90-868

- 1/4 Wavelength **Whip** Antenna
- Rugged Flexible Plastic Finish.
- Available as BNC, SMA-Plug, M4 Screw Fixing
- Available as Straight or Right Angle
- VSWR <2.0
- 50ohm Impedance
- Operating Temp -30 to +85°C
- Insulation Resistance 500o@500Vdc



## Applications

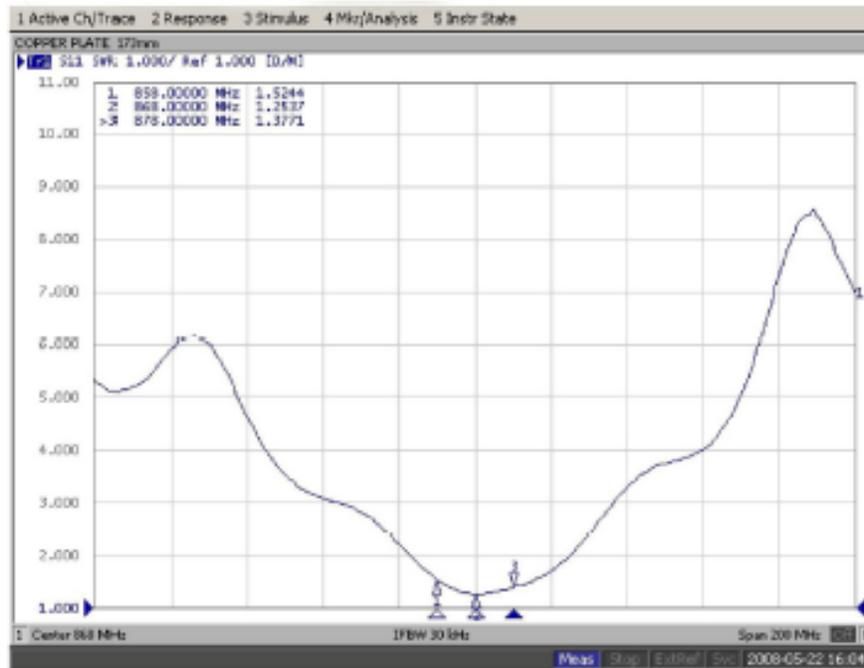
## Mechanical Dimensions





# FLEXI-SMA90-868

## Performance / VSWR Plot



**R F Solutions Ltd.,**  
 Unit 21, Cliffe Industrial Estate,  
 Lewes, E. Sussex. BN8 6JL England.  
 Email : [sales@rfsolutions.co.uk](mailto:sales@rfsolutions.co.uk)    <http://www.rfsolutions.co.uk>  
 Tel: +44 (0)1273 898 000    Fax: +44 (0)1273 480 661



**ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 1.1. Ejemplo de palet con sistema RFID tanto a nivel de palet como en los productos ..... 5

Figura 1.2. Operario leyendo una etiqueta adherida a un palet..... 6

Figura 1.3.Sistema RFID que identifica los palets que cruzan la puerta ..... 6

Figura 1.4.Tiempo promedio de operación para las diferentes estrategias probadas en el primer caso de estudio ..... 8

Figura 1.5.Número de camiones que cargan su mercancía con las diferentes estrategias en el primer caso de estudio..... 9

Figura 1.6.Porcentaje de camiones que llegan tar con las diferentes estrategias en el primer caso de estudio..... 9

Figura 1.7.Cadena de montaje de la fabrica de bicicletas del segundo caso de estudio. .... 10

Figura 1.8.Infraestructura del sistema basado en RFID para el tercer caso de estudio ..... 12

Figura 1.9.Colocación del tag en el producto del ultimo caso de estudio ..... 13

Figura 1.10.Pasos en el transporte de el producto etiquetado en el ultimo caso de estudio ..... 13

Figura 3.1.Onda electromagnética ..... 16

Figura 3.2.Características de una onda electromagnética ..... 16

Figura 3.3.Polarización de una onda electromagnética ..... 18

Figura 3.4.Ley de Fresnell..... 19

Figura 3.5.Reflexión dependiendo de la polarización de la onda electromagnética ..... 20

Figura 3.6.Difracción ..... 21

Figura 3.7.Propagación ionosférica y por onda directa ..... 22

Figura 3.8.Propagación superficial y troposférica ..... 23

Figura 3.9.Propagación espacial..... 23

Figura 3.10.Proceso de radiocomunicación ..... 26

Figura 3.11.Uso del RFID ..... 29

Figura 3.12.Codigo de barras unidireccional y bireccional ..... 31

Figura 3.13.Sistema de reconocimiento por huella dactilar ..... 32

Figura 3.14.Tarjeta inteligente ..... 33

Figura 3.15.Sistemas Auto-ID ..... 34

Figura 3.16.Sistema IFF ..... 35

Figura 3.17.Historia del RFID ..... 37

Figura 3.18.Eschema básico del sistema RFID ..... 38

Figura 3.19.Tag RFID..... 38

Figura 3.20.Clasificación de transpondedores RFID..... 39

Figura 3.21.Tag EAS ..... 40

Figura 3.22.Sistema acusticomagnético ..... 44

Figura 3.23.Lector de acoplamiento inductivo ..... 46

Figura 3.24Tag de acoplamiento electromagnético de retrodispersión..... 47

Figura 3.25.Tag de acoplamiento inductivo ..... 49

Figura 3.26.Estructura de un tag SAW ..... 51

Figura 3.27.Lectores RFID.....	52
Figura 3.28.Antena ortogonal .....	55
Figura 3.29.Antena polarizada circularmente.....	55
Figura 3.30.Antena omnidireccional .....	56
Figura 3.31.Antena polarizada linealmente .....	56
Figura 3.32.Programadores RFID .....	57
Figura 3.33.Función de Middleware en los sistemas RFID.....	59
Figura 3.34.Comparación de la información que guarda un sistema RFID y un sistema de código de barras .....	62
Figura 3.35.Bandas de frecuencia y las frecuencias que utiliza el sistema RFID.....	63
Figura 4.1.Imágenes del pasillo y el hueco donde no hay visibilidad directa .....	74
Figura 4.2.Plano del pasillo con los puntos donde se han tomado las mediciones y donde se ha colocado la antena emisora .....	75
Figura 4.3.Imágenes del Sario una de ellas con el montaje ya hecho.....	76
Figura 4.4.Pasillo central de la empresa Disayt.....	76
Figura 4.5. Estructuras de metal o estanterías donde se colocan los palets. ....	77
Figura 4.6.Zona amplia al final del pasillo en la empresa Disayt .....	77
Figura 4.7.FieldFox RF analyzer .....	78
Figura 4.8.Generador R&S SMY02.....	79
Figura 4.9.Antena de panel .....	80
Figura 4.10.Antena mini para interiores .....	80
Figura 4.11.Montaje de la antena receptora para poder llevar a cabo las mediciones .....	81
Figura 4.12.Comparativa de los modelos empíricos con las medidas experimentales de potencia recibida para la zona central del pasillo.....	83
Figura 4.13. Comparativa de los modelos empíricos con las medidas experimentales de potencia recibida para la zona lateral del pasillo.....	83
Figura 4.14. Comparativa de los modelos empíricos con las medidas experimentales de potencia recibida para la zona más cercana a la pared del pasillo .....	84
Figura 4.15. Comparativa de los modelos empíricos con las medidas experimentales de potencia recibida para la primera parte del hueco de la ventana sin visión directa .....	85
Figura 4.16 Comparativa de los modelos empíricos con las medidas experimentales de potencia recibida para la segunda parte del hueco de la ventana sin visión directa .....	85
Figura 4.17.Cálculo del pasillo hecho mediante trazado de rayos.....	87
Figura 4.18.Comparativa de los modelos empíricos con las medidas experimentales de potencia recibida para la zona central del Sario .....	88
Figura 4.19.Comparativa de los modelos empíricos con las medidas experimentales de potencia recibida para la zona de la pared del Sario .....	89
Figura 4.20.Comparativa de los modelos empíricos con las medidas experimentales de potencia recibida para la zona lateral del Sario .....	89

Figura 4.21. Comparativa de los modelos empíricos con las medidas experimentales de potencia recibida para la zona lateral del Sario, tomando las medidas experimentales al ras del suelo.....	90
Figura 4.22. Comparativa de los modelos empíricos con las medidas experimentales de potencia recibida para la zona central del Sario, tomando las medidas experimentales al ras del suelo.....	90
Figura 4.23. Comparativa de los modelos empíricos con las medidas experimentales de potencia recibida para la zona de la pared del Sario, tomando las medidas experimentales al ras del suelo.	91
Figura 4.24. Comparativa de los modelos empíricos con las medidas experimentales de potencia recibida para la zona central de la empresa Disayt. ....	92
Figura 4.25. Comparativa de los modelos empíricos con las medidas experimentales de potencia recibida para la zona de estanterías de la empresa Disayt.....	93
Figura 4.26. Potencia recibida en el lector cambiando el coeficiente de reflexión de las etiquetas, adheridas a una caja de madera en la zona central de la empresa Disayt .....	95
Figura 4.27 Potencia recibida en el lector cambiando el coeficiente de reflexión de las etiquetas, adheridas a una caja de madera en la zona de estanterías de la empresa Disayt.....	96
Figura 4.28. Potencia recibida en el lector cambiando el coeficiente de reflexión de las etiquetas, adheridas a una botella de cristal con agua en la zona central de la empresa Disayt.....	96
Figura 4.29 Potencia recibida en el lector cambiando el coeficiente de reflexión de las etiquetas, adheridas a una botella de cristal con agua en la zona de estanterías de la empresa Disayt .....	97
Figura 4.30. Comparación de la potencia recibida con un coeficiente de reflexión de 0,5, entre tags adheridos a una botella de cristal con agua y una caja de madera en la zona de estanterías. Comparación de estos con la sensibilidad de tres lectores .....	98
Figura 4.31. Comparación de la potencia recibida con un coeficiente de reflexión de 0,5, entre tags adheridos a una botella de cristal con agua y una caja de madera en la zona central. Comparación de estos con la sensibilidad de tres lectores.....	98
Figura 4.32. Potencia recibida en el lector cambiando la sección radar del tag, con la etiqueta adherida en caja de madera para la zona central .....	99
Figura 4.33. Potencia recibida en el lector cambiando la sección radar del tag, con la etiqueta adherida en caja de madera para la zona de estanterías. ....	100
Figura 4.34. Potencia recibida en el lector cambiando la sección radar del tag, con la etiqueta adherida en botella de cristal con agua para la zona central .....	100
Figura 4.35. Potencia recibida en el lector cambiando la sección radar del tag, con la etiqueta adherida a una botella de cristal para la zona de estanterías. ....	101
Figura 4.36 Comparación de la potencia recibida en el lector con la sección radar de Moon maximun, entre tags adheridos a una botella de cristal con agua y una caja de madera en la zona de estanterías. Comparación de estos con la sensibilidad de tres lectores. ....	102
Figura 4.37 Comparación de la potencia recibida en el lector con la sección radar de Moon maximun, entre tags adheridos a una botella de cristal con agua y una caja de madera en la zona central. Comparación de estos con la sensibilidad de tres lectores. ....	102

ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.1.Mejoras que presenta el sistema basado en RFID respecto al sistema anterior del segundo caso de estudio .....</b>	<b>11</b>
<b>Tabla 3.1.Bandas de frecuencia .....</b>	<b>28</b>

## Lista de acrónimos

<b>AF</b>	<b>Audio Frequency</b>
<b>ALE</b>	<b>Application Level Events</b>
<b>ASIC</b>	<b>Application Specific Integrated Circuit</b>
<b>ASK</b>	<b>Amplitude Shift Keying</b>
<b>Auto-ID</b>	<b>Auto Identificación</b>
<b>COST</b>	<b>Cooperation in Science and Technology</b>
<b>CRC</b>	<b>Cyclic Redundancy Check</b>
<b>EAS</b>	<b>Electronic Article Surveillance</b>
<b>EED</b>	<b>Earliest Due Date</b>
<b>EPC</b>	<b>Electronic Product Code</b>
<b>FIFO</b>	<b>First In, First Out</b>
<b>FSK</b>	<b>Frequency Shift Keying</b>
<b>GTIN</b>	<b>Global Trade Item Number</b>
<b>HF</b>	<b>High Frequency</b>
<b>IFF</b>	<b>Identification Friend o For</b>
<b>IPR</b>	<b>Intellectual Property Rights</b>
<b>ISM</b>	<b>Industrial, Scientific and Medical</b>
<b>ITU</b>	<b>International Union Telecommunication</b>
<b>LF</b>	<b>Low Frequency</b>
<b>LRC</b>	<b>Longitudinal Redundancy Check</b>
<b>MF</b>	<b>Medium Frequency</b>
<b>ONS</b>	<b>Object Name Server</b>

<b>PC</b>	<b>Protocol Control</b>
<b>PSK</b>	<b>Phase Shift Keying</b>
<b>RF</b>	<b>Radio Frecuencia</b>
<b>RFID</b>	<b>Radio Frequency IDentification</b>
<b>RPT</b>	<b>Remaining Production Time</b>
<b>SAW</b>	<b>Surface Acoustic Wave</b>
<b>SCM</b>	<b>Supply Chain Management</b>
<b>SEP</b>	<b>Smart End Point</b>
<b>SIM</b>	<b>Subscriber Identity Module</b>
<b>SRT</b>	<b>Shorter Remaining Production Time</b>
<b>UHF</b>	<b>Ultra High Frequency</b>
<b>UIT</b>	<b>Unión Internacional de Telecomunicaciones</b>
<b>VHF</b>	<b>Very High Frequency</b>
<b>Vpp</b>	<b>Voltios pico pico</b>
<b>WLAN</b>	<b>Wireless Local Area Network</b>
<b>WWII</b>	<b>World Ward II</b>

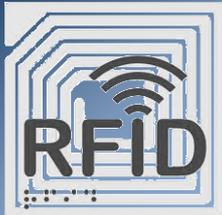


**UNIVERSIDAD PUBLICA DE NAVARRA**  
**Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica**

# Aplicación de sistemas RFID y su implementación en el sector logístico

**Proyecto Final de Carrera**  
**Dirigido por: Dr. Francisco Falcone**

**Erik Aguirre Gallego**  
**Pamplona, 14 de Septiembre de 2010**



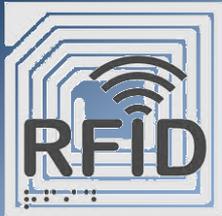
# Aplicación de sistemas RFID y su implementación en el sector logístico



## Índice

Introducción  
Objetivos  
Modelos  
Medidas  
Resultados  
Conclusiones  
Líneas futuras

- ✓ Introducción
- ✓ Objetivos
- ✓ Modelos
- ✓ Medidas
- ✓ Resultados
- ✓ Conclusiones
- ✓ Líneas futuras

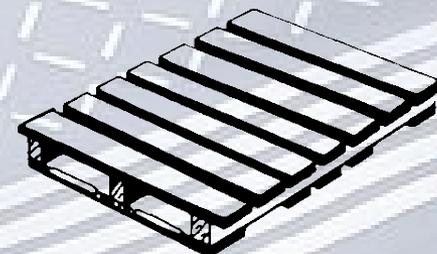
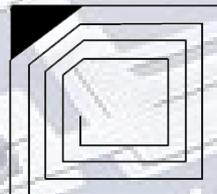


# Aplicación de sistemas RFID y su implementación en el sector logístico



## Introducción

RFID: Identificación por radio frecuencia



Introducción

Objetivos

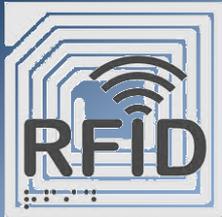
Modelos

Medidas

Resultados

Conclusiones

Líneas futuras



# Aplicación de sistemas RFID y su implementación en el sector logístico



## Introducción

### Introducción

### Objetivos

### Modelos

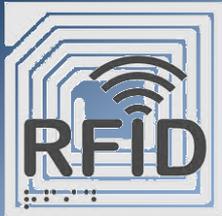
### Medidas

### Resultados

### Conclusiones

### Líneas futuras

- ✓ Gestión de almacén
  - Identificación unívoca de las posiciones de almacenamiento
  - Gestión inteligente de huecos
  - Gestión de stock por caducidad de bienes
  - Gestión de recepción de mercancías
- ✓ Gestión de trazabilidad
  - Visibilidad del producto en la cadena de suministro
- ✓ Gestión de expediciones
  - Comprobación y validación sobre la mercancía expedida
- ✓ Gestión de control
  - Control de Hurtos y extravíos

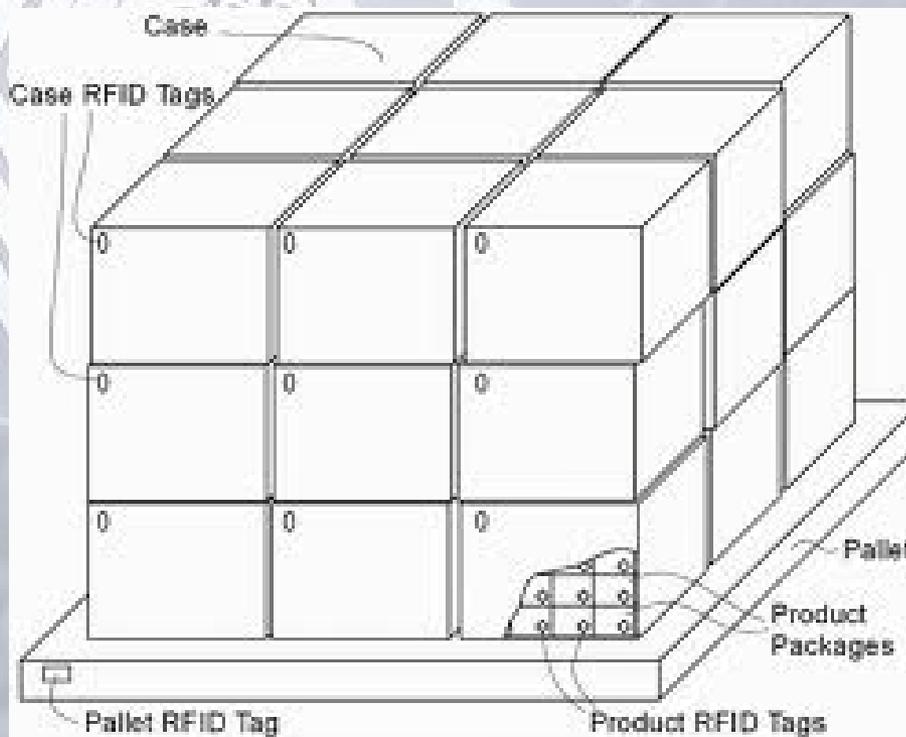


# Aplicación de sistemas RFID y su implementación en el sector logístico



## Introducción

- ✓ Identificación de los productos



Introducción

Objetivos

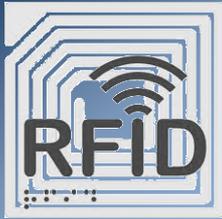
Modelos

Medidas

Resultados

Conclusiones

Líneas futuras

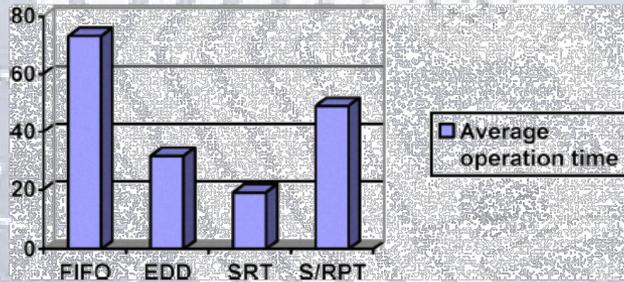


# Aplicación de sistemas RFID y su implementación en el sector logístico

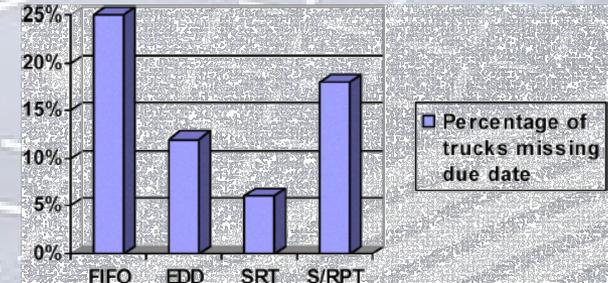


## Introducción

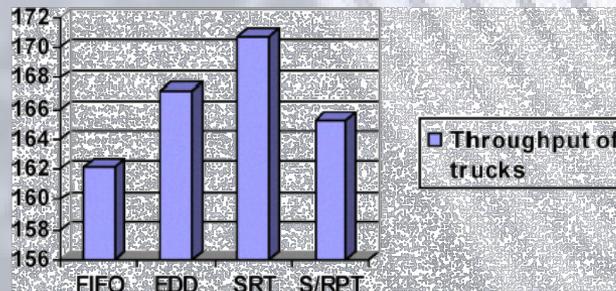
### ✓ Caso de estudio 1



Tiempo promedio de operación



Porcentaje de camiones que llegan tarde



Nº de camiones que cargan su mercancía

Introducción

Objetivos

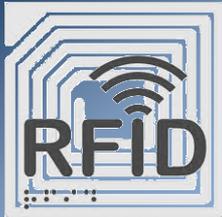
Modelos

Medidas

Resultados

Conclusiones

Líneas futuras



# Aplicación de sistemas RFID y su implementación en el sector logístico



## Introducción

### ✓ Caso de estudio 2

Evaluación de los beneficios	Estado actual	Mejoras estimadas en el plazo de 2 años
Precisión de seguimiento de piezas	<70%	>95%
Tasa de pérdida de piezas	6%-7%	<1%
Cumplimiento de la fecha de entrega	5%	<1,5%
Ahorro de los costes laborales	---	10-30%
Ahorro de costes de mano de obra para el seguimiento de piezas	---	20-40%
Ahorro de costes de mano de obra para las auditorias de inventario	---	25-50%
Reducción de tiempo de producción para la fabricación de una bicicleta personalizada	---	40-50%
Reducción del inventario	---	10-15%

Introducción

Objetivos

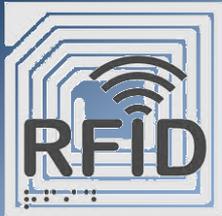
Modelos

Medidas

Resultados

Conclusiones

Líneas futuras

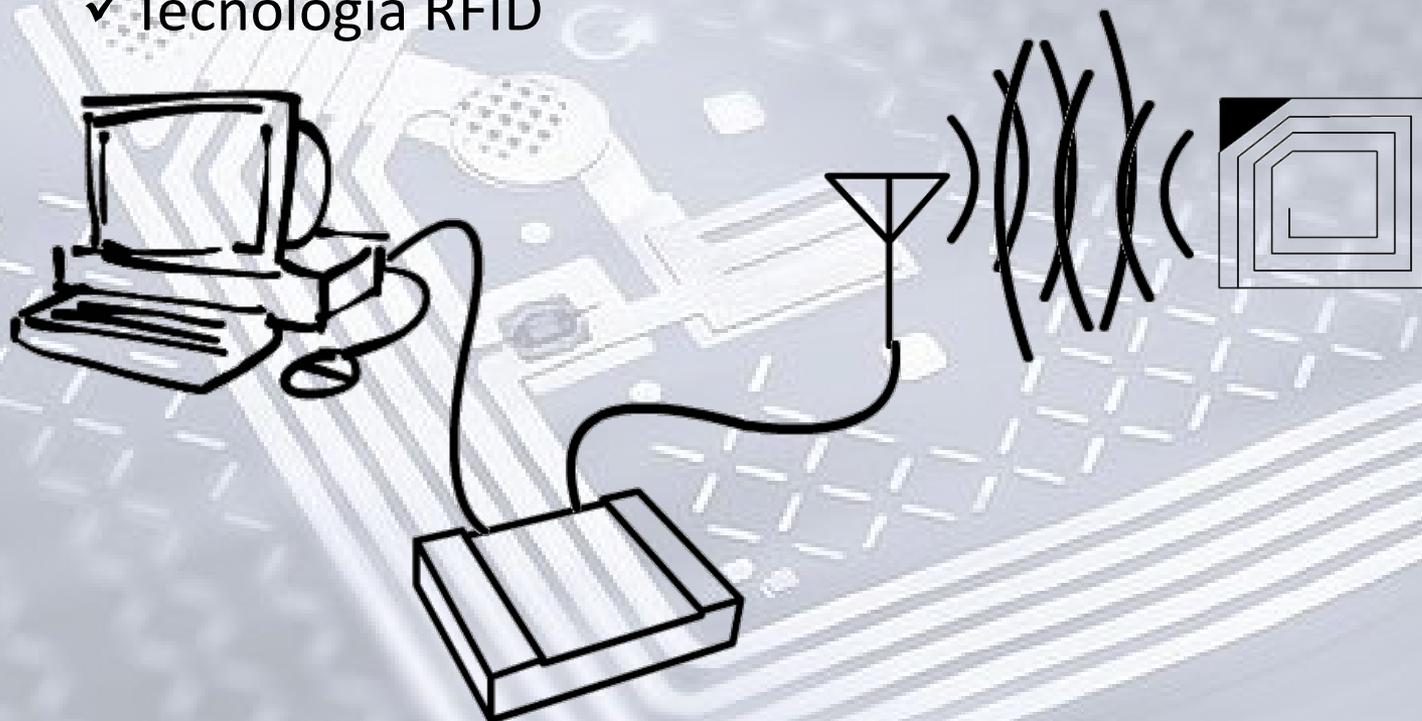


# Aplicación de sistemas RFID y su implementación en el sector logístico



## Introducción

✓ Tecnología RFID



Introducción

Objetivos

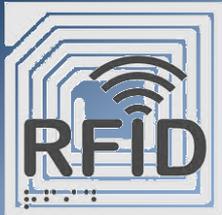
Modelos

Medidas

Resultados

Conclusiones

Líneas futuras



# Aplicación de sistemas RFID y su implementación en el sector logístico



## Introducción

✓ Lectores



Fijo



Movil

Introducción

Objetivos

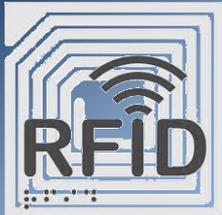
Modelos

Medidas

Resultados

Conclusiones

Líneas futuras



# Aplicación de sistemas RFID y su implementación en el sector logístico



## Introducción

### ✓ Etiquetas

- Según el nº de bits

- 1 bit

- n-bit

- Según funcionamiento

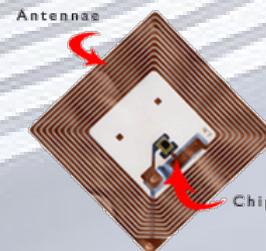
- Pasivos

- Activos

- Semipasivos



Tag 1-bit



Tag n-bit

Introducción

Objetivos

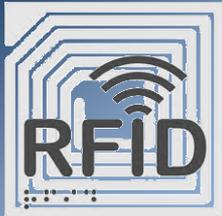
Modelos

Medidas

Resultados

Conclusiones

Líneas futuras



# Aplicación de sistemas RFID y su implementación en el sector logístico



## Introducción

Introducción

Objetivos

Modelos

Medidas

Resultados

Conclusiones

Líneas futuras

### ✓ Antenas

#### • Antenas ortogonales

- Dependen poco de la orientación y polarización
- Suelen ser mas grandes

#### • Antenas polarizadas circularmente

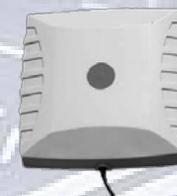
- Mayor tolerancia a la orientación de la antena
- Rango de lectura inferior

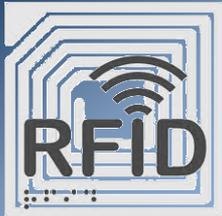
#### • Antenas polarizadas linealmente

- Mas sensibles a la orientación de la etiqueta
- Mayor rango de lectura

#### • Antenas omnidireccionales

- Emiten y reciben señal en todas direcciones





# Aplicación de sistemas RFID y su implementación en el sector logístico



## Introducción

Introducción

Objetivos

Modelos

Medidas

Resultados

Conclusiones

Líneas futuras

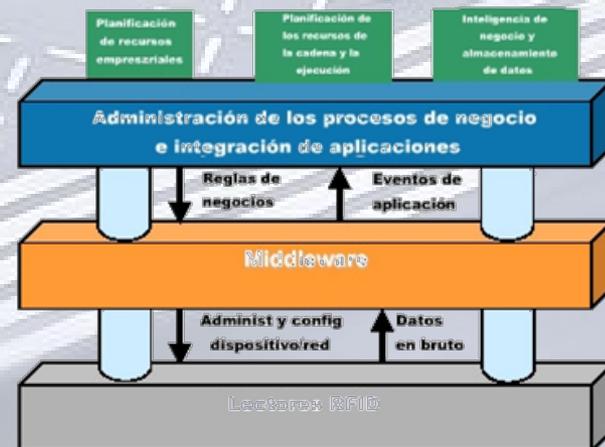
### ✓ Programadores

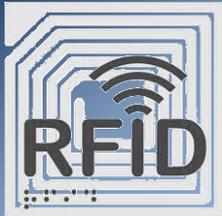
- Se utilizan para insertar la información en el tag



### ✓ Middleware

- Software existente entre el lector y los sistemas de gestión empresariales





# Aplicación de sistemas RFID y su implementación en el sector logístico



## Objetivos

- ✓ Análisis teórico y práctico de la tecnología RFID para el ámbito logístico
- ✓ Caracterización radio analítica y determinista
- ✓ Estudios de simulación y medida

Introducción

**Objetivos**

Modelos

Medidas

Resultados

Conclusiones

Líneas futuras



# Aplicación de sistemas RFID y su implementación en el sector logístico



## Modelos

Introducción

Objetivos

**Modelos**

Medidas

Resultados

Conclusiones

Líneas futuras

✓ **Empíricos**

✓ **Deterministas**

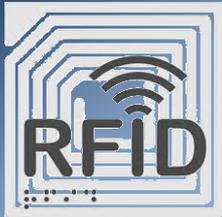
Se fundamentan en las aplicaciones de Maxwell y en la posibilidad de posterior correlación de las medidas con modelos estadísticos generales descriptivos del medio de propagación.

### Ventajas

- Estimación rápida del entorno y sus factores
- Fácil implementación

### Desventajas

- Débil resolución del entorno
- No tiene en cuenta los factores



# Aplicación de sistemas RFID y su implementación en el sector logístico



## Modelos

- ✓ Espacio libre
- ✓ Cost 231
- ✓ ITU-RP 1238
- ✓ Linear Path attenuation model
- ✓ Keenan Motley
- ✓ Multi Wall
- ✓ Two Slope

Introducción

Objetivos

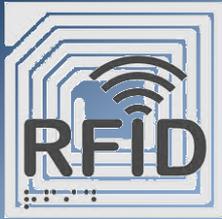
**Modelos**

Medidas

Resultados

Conclusiones

Líneas futuras



# Aplicación de sistemas RFID y su implementación en el sector logístico



## Modelos

✓ Modelo empírico COST 231 MULTI-WALL

$$L = L_{FS} + L_C + \sum K_{wi} L_{wi} + n \left( \frac{n+2}{n+1} - b \right) \cdot L_f \quad (dB)$$

Pérdidas en espacio libre:  $L_0 = 32.5 + 20 \log f_{(MHz)} + 20 \log r_{(km)}$

Constante de ajuste

$K_{wi}$ : nº paredes

$L_{wi}$ : pérdidas paredes

$n$ : nº suelos

$b$ : parámetro empírico (3.4 dBs)

$L_f$ =pérdidas suelos

	Descripción	Factor (dB)
$L_f$	Suelos (estructura típica) - Baldosas - Revestimiento de hormigón - Espesor típico < 30 cm	18.3
$L_{w1}$	Muros internos finos - Yeso - Muros con muchos huecos (ventanas)	3.4
$L_{w2}$	Muros internos - Hormigón, ladrillos - Mínimo número de huecos	6.9

Introducción

Objetivos

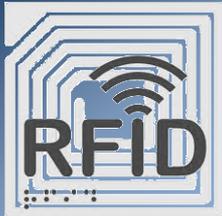
Modelos

Medidas

Resultados

Conclusiones

Líneas futuras



# Aplicación de sistemas RFID y su implementación en el sector logístico



## Medidas

- ✓ Pasillo
- ✓ El Sario
- ✓ Empresa Disayt

Introducción

Objetivos

Modelos

**Medidas**

Resultados

Conclusiones

Líneas futuras



# Aplicación de sistemas RFID y su implementación en el sector logístico



## Medidas

Introducción

Objetivos

Modelos

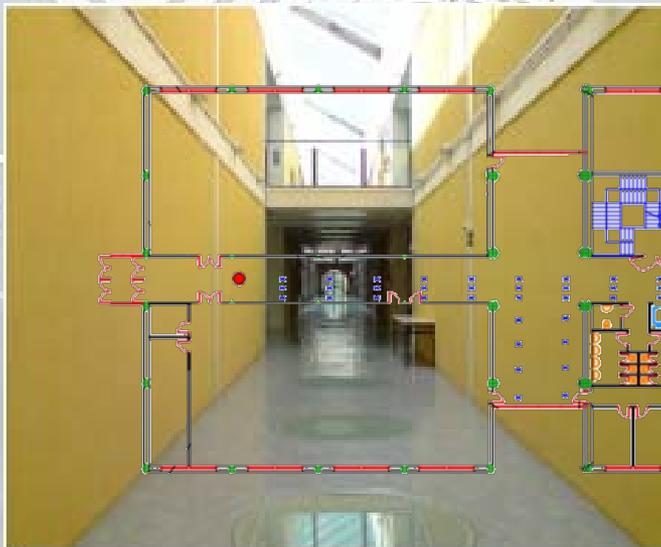
**Medidas**

Resultados

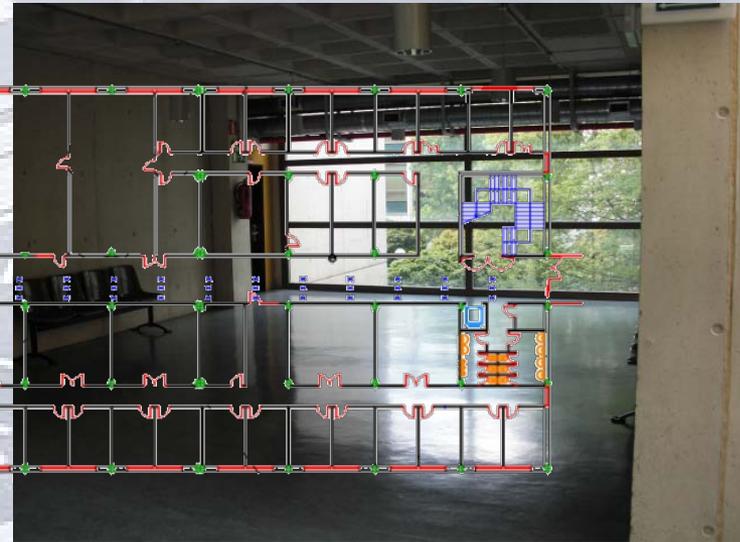
Conclusiones

Líneas futuras

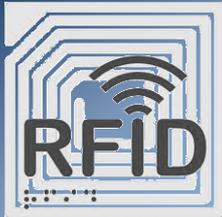
✓ Pasillo



Zona 1: Pasillo



Zona 2: Huevo del pasillo



# Aplicación de sistemas RFID y su implementación en el sector logístico



## Medidas

Introducción

Objetivos

Modelos

**Medidas**

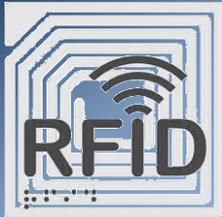
Resultados

Conclusiones

Líneas futuras

✓ El Sario





# Aplicación de sistemas RFID y su implementación en el sector logístico



## Medidas

### ✓ Empresa Disayt

- Este estudio ha sido posible gracias a la colaboración de la Universidad Pública de Navarra con la Asociación Navarra de Transporte y Logística (ANET) a la que pertenece la empresa Disayt





# Aplicación de sistemas RFID y su implementación en el sector logístico



## Medidas

Introducción

Objetivos

Modelos

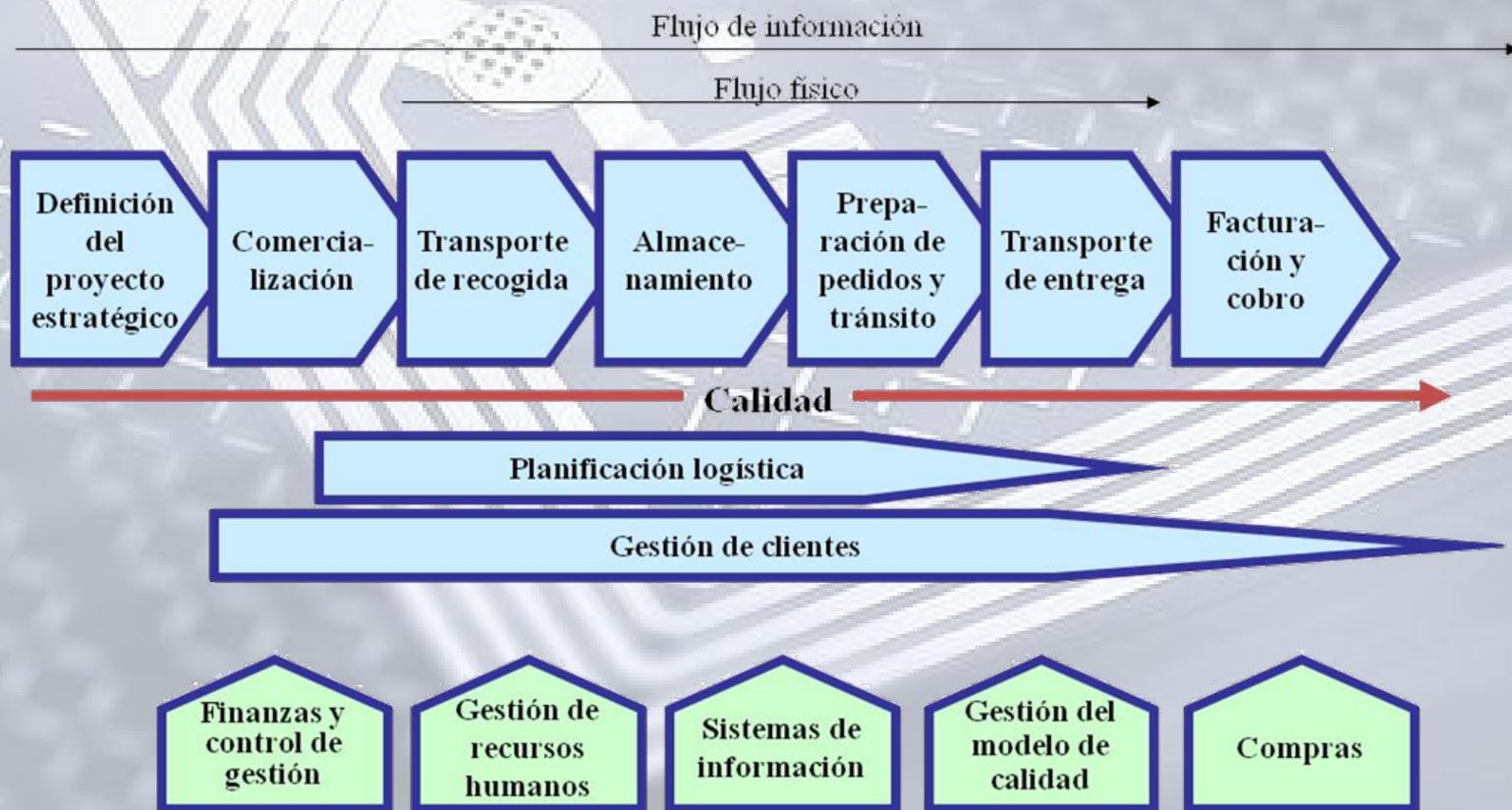
**Medidas**

Resultados

Conclusiones

Líneas futuras

✓ Empresa Disayt





# Aplicación de sistemas RFID y su implementación en el sector logístico



## Medidas

Introducción

Objetivos

Modelos

**Medidas**

Resultados

Conclusiones

Líneas futuras

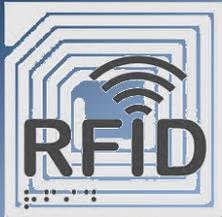
✓ Empresa Disayt



Zona 1: Pasillo central



Zona 2: Estanterías



# Aplicación de sistemas RFID y su implementación en el sector logístico



## Medidas

Introducción

Objetivos

Modelos

**Medidas**

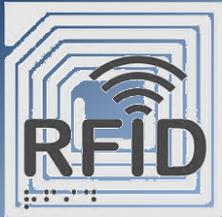
Resultados

Conclusiones

Líneas futuras

✓ Montaje





# Aplicación de sistemas RFID y su implementación en el sector logístico



## Resultados

Introducción

Objetivos

Modelos

Medidas

**Resultados**

Conclusiones

Líneas futuras

- ✓ Potencia recibida por el tag
- Potencia recibida en diferentes puntos de la sala
- ✓ Potencia recibida por el lector
- Potencia que recibe el lector suponiendo que la etiqueta se excite con la potencia recibida



# Aplicación de sistemas RFID y su implementación en el sector logístico



## Resultados

✓ Pasillo

Introducción

Objetivos

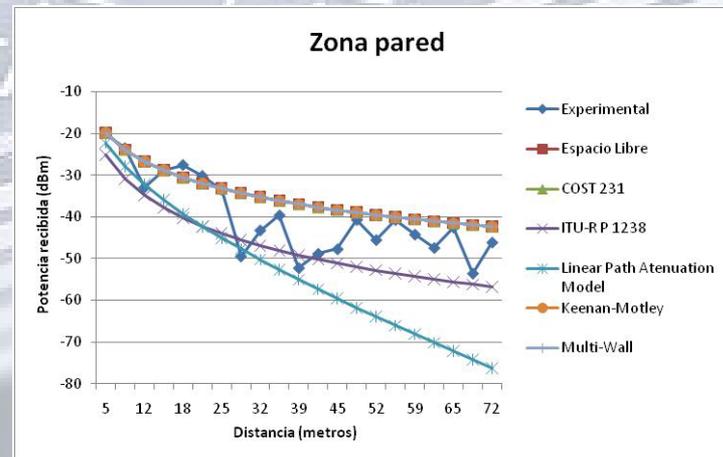
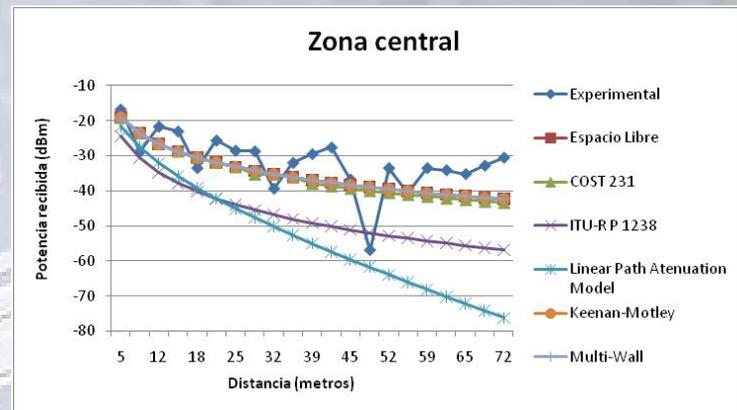
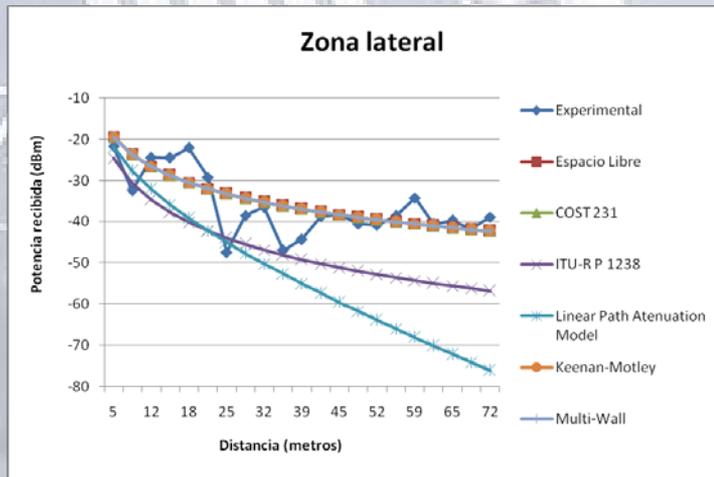
Modelos

Medidas

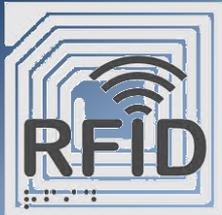
**Resultados**

Conclusiones

Líneas futuras



Medidas experimentales  
VS  
Cálculos empíricos



# Aplicación de sistemas RFID y su implementación en el sector logístico



## Resultados

Introducción

Objetivos

Modelos

Medidas

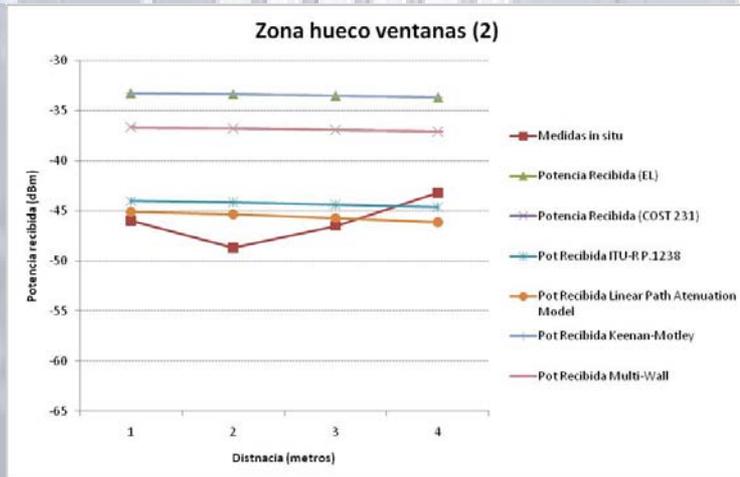
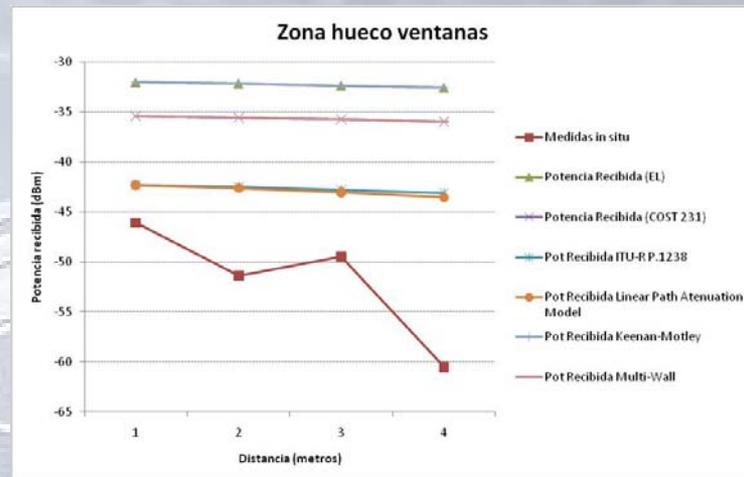
**Resultados**

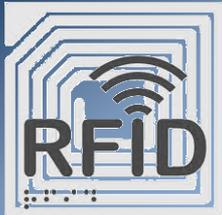
Conclusiones

Líneas futuras

✓ Pasillo

Zonas sin visibilidad directa





# Aplicación de sistemas RFID y su implementación en el sector logístico



Introducción

Objetivos

Modelos

Medidas

**Resultados**

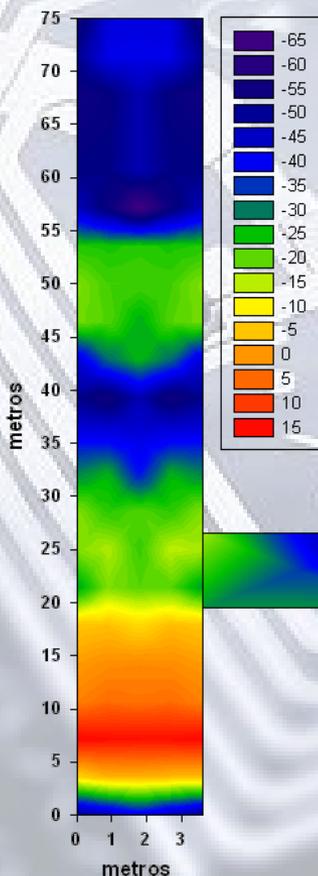
Conclusiones

Líneas futuras

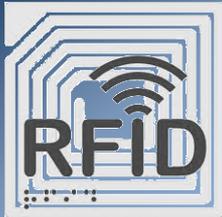
## Resultados

✓ Pasillo

Potencia Recibida (dBm)



Calculo de potencia hecho gracias al trazado de rayos



# Aplicación de sistemas RFID y su implementación en el sector logístico



## Resultados

✓ El Sario

Introducción

Objetivos

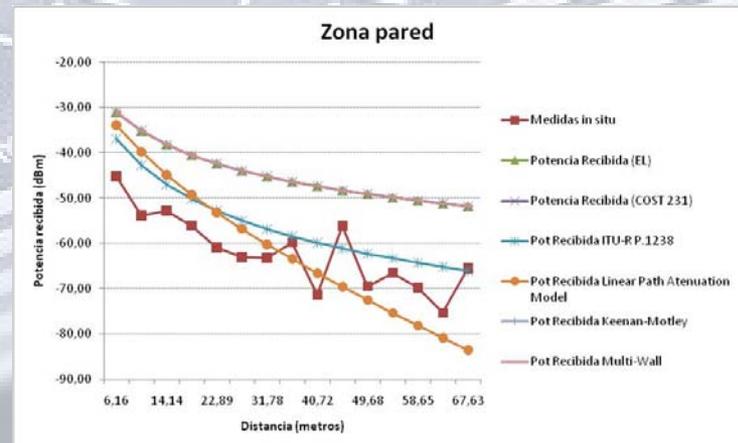
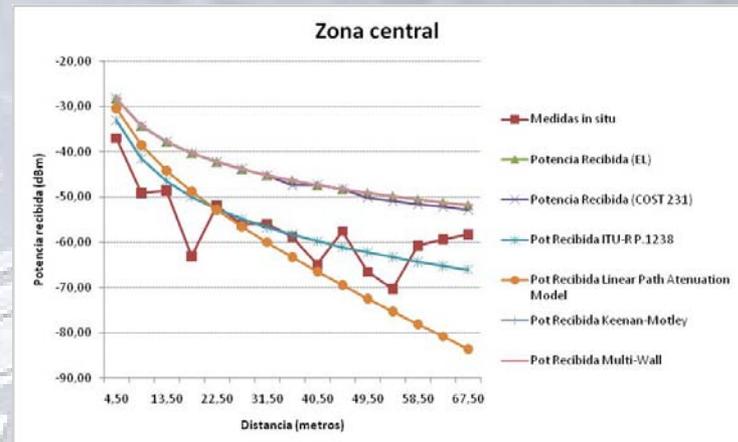
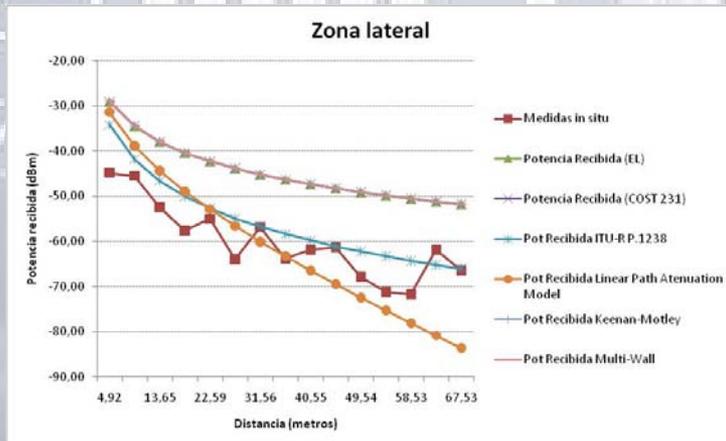
Modelos

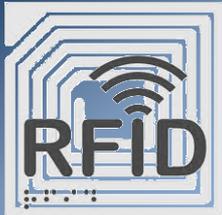
Medidas

Resultados

Conclusiones

Líneas futuras



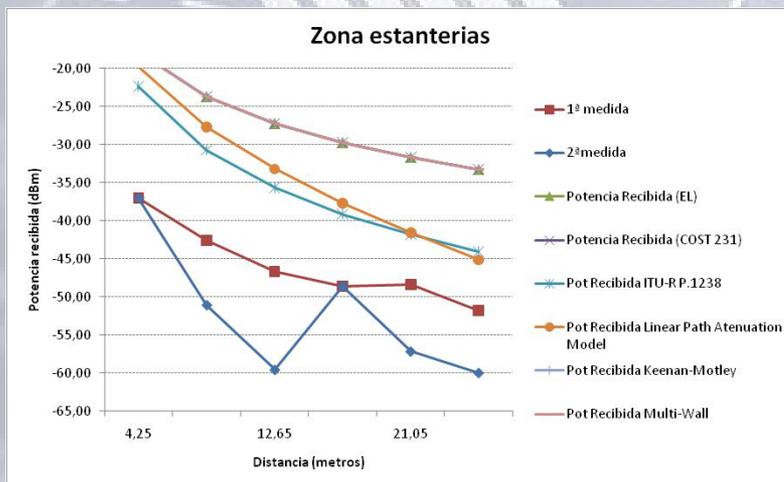
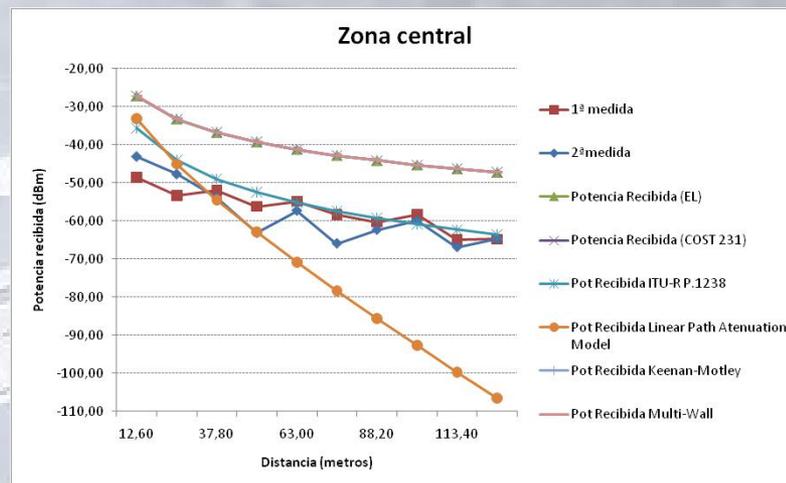


# Aplicación de sistemas RFID y su implementación en el sector logístico



## Resultados

✓ Empresa Disayt



Introducción

Objetivos

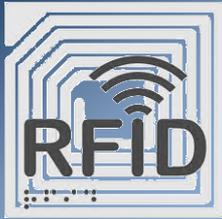
Modelos

Medidas

Resultados

Conclusiones

Líneas futuras



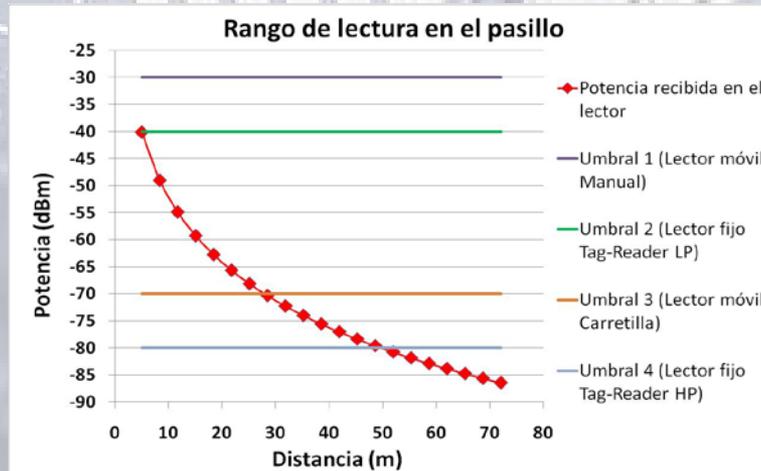
# Aplicación de sistemas RFID y su implementación en el sector logístico



## Resultados

- ✓ Potencia recibida por el lector
- Verificación de la posibilidad de lectura

$$P_{r,reader} (dBm) = P_{reader} (dBm) + 2G_{reader} (dB) - L_{*s} (dB) + 10 \log \left( \frac{RCS}{4\pi} \right) + 20 \log \left( \frac{\lambda}{4\pi} \right) - 40 \log(r)$$



Ptx = 0  
dBm  
RCS = 1

Introducción

Objetivos

Modelos

Medidas

**Resultados**

Conclusiones

Líneas futuras



\* Antonio Lázaro, David Girbau and David Salinas, *Radio Link Budgets for UHF RFID on Multipath Environments*, IEEE Transactions on antennas and propagation, Vol 57, No 4, April 2009.



# Aplicación de sistemas RFID y su implementación en el sector logístico



## Resultados

Introducción

Objetivos

Modelos

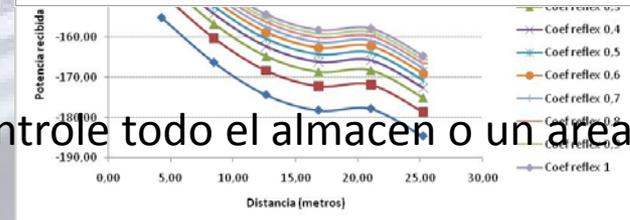
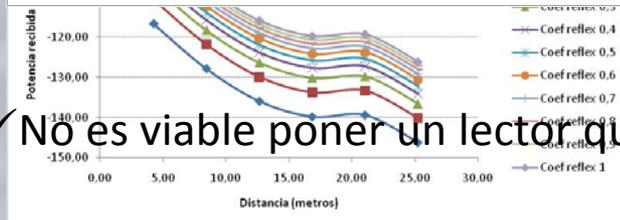
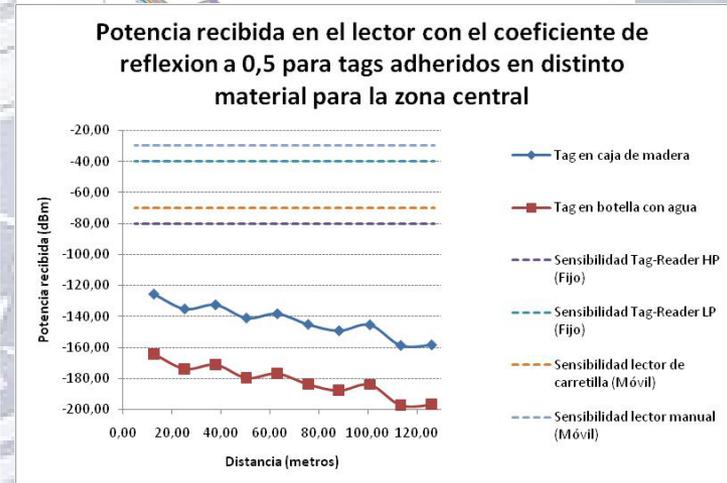
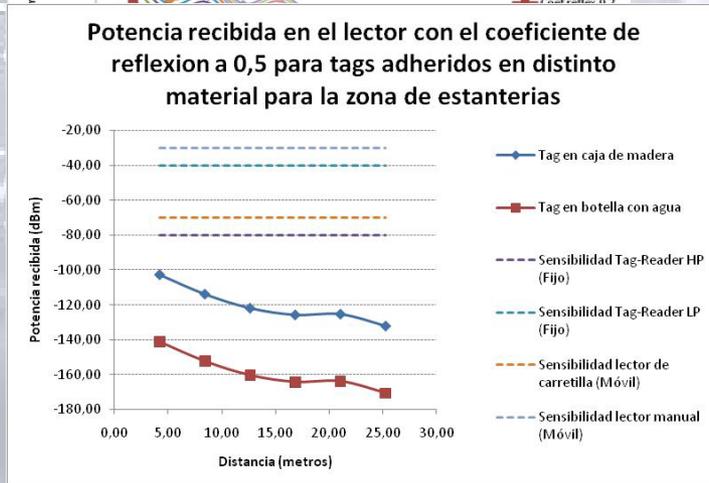
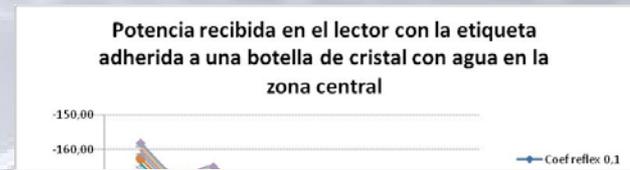
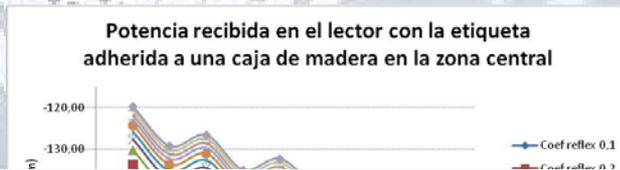
Medidas

**Resultados**

Conclusiones

Líneas futuras

### ✓ Empresa Disayt



✓ No es viable poner un lector que controle todo el almacén o un área



# Aplicación de sistemas RFID y su implementación en el sector logístico



## Resultados

✓ Empresa Disayt

Introducción

Objetivos

Modelos

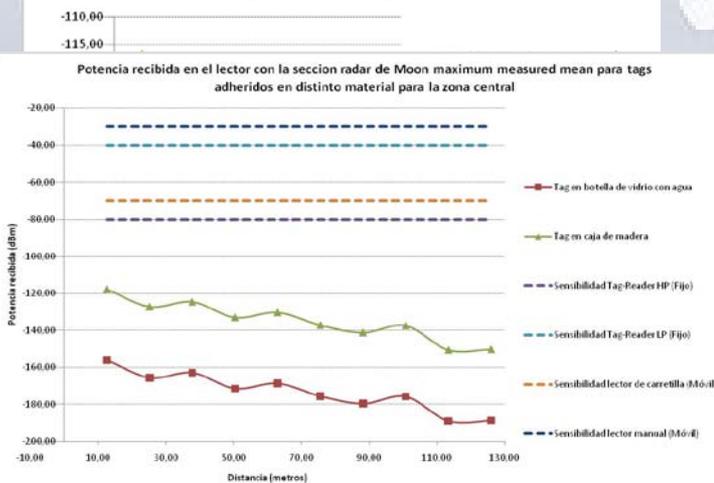
Medidas

Resultados

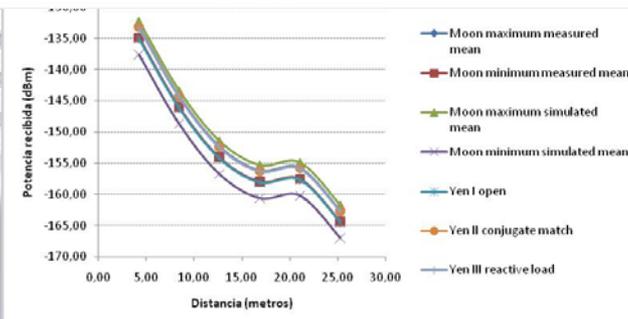
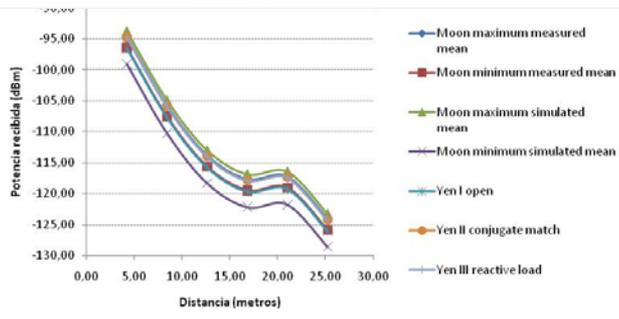
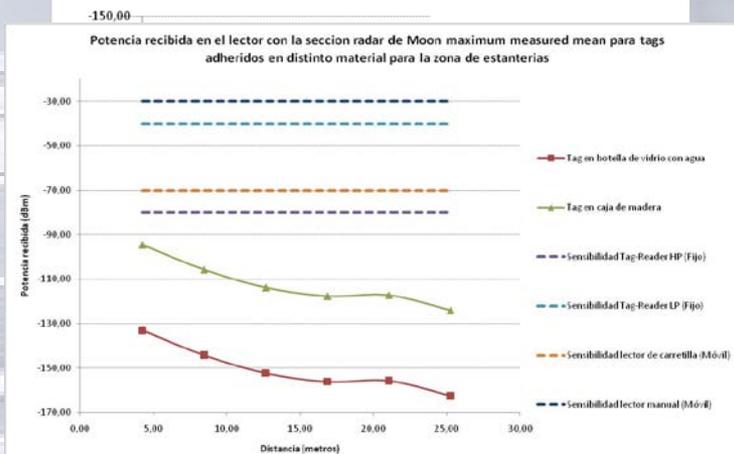
Conclusiones

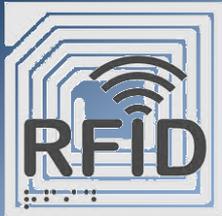
Líneas futuras

### Potencia recibida en el lector con la etiqueta adherida en caja de madera para la zona central



### Potencia recibida en el lector con la etiqueta adherida en botella de cristal con agua para la zona central





# Aplicación de sistemas RFID y su implementación en el sector logístico



## Conclusiones

- ✓ Modelos empíricos poco exactos
- ✓ ITU-RP 238 localizaciones amplias
- ✓ COST 231 y espacio libre localizaciones estrechas
- ✓ Hay que optimizar el uso de los lectores
- ✓ Hay que tener en cuenta donde se colocan las etiquetas

Introducción

Objetivos

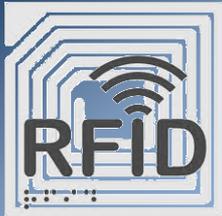
Modelos

Medidas

Resultados

**Conclusiones**

Líneas futuras



# Aplicación de sistemas RFID y su implementación en el sector logístico



## Líneas futuras

- ✓ Estudiar más entornos reales y aplicaciones para la tecnología RFID en el ámbito logístico.
- ✓ Modelar todos los entornos con técnicas de trazado de rayos, especialmente la empresa de logística.
- ✓ Trabajar con equipos reales (lectores y etiquetas)

Introducción

Objetivos

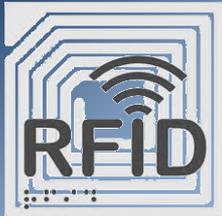
Modelos

Medidas

Resultados

Conclusiones

**Líneas futuras**



# Aplicación de sistemas RFID y su implementación en el sector logístico



Introducción

Aceptación de un artículo en el simposio nacional URSI Bilbao 2010

Objetivos

Modelos

Medidas

Resultados

Conclusiones

Líneas futuras

URSI **BILBAO**  
25 2010



XXV Simposium Nacional  
UNIÓN CIENTÍFICA  
INTERNACIONAL DE RADIO

Colaboración con la Asociación Navarra de Empresarios de  
Transporte y logística (ANET)

**ANET**



**UNIVERSIDAD PUBLICA DE NAVARRA**  
**Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica**

**upna**  
Universidad  
Pública de Navarra  
Nafarroako  
Unibertsitate Publikoa

# Aplicación de sistemas RFID y su implementación en el sector logístico

## Gracias por vuestra atención!

**Proyecto Final de Carrera**  
**Dirigido por: Dr. Francisco Falcone**

**Erik Aguirre Gallego**  
**Pamplona, 14 de Septiembre de 2010**