



## ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

Titulación:

INGENIERO TÉCNICO DE TELECOMUNICACIÓN,  
ESPECIALIDAD EN SONIDO E IMAGEN

Título del proyecto:

DISEÑO Y PLANIFICACIÓN DE SISTEMAS RFID EN  
ENTORNOS SANITARIOS INTERFERENTES

Juan Salaberri Lecumberri

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:*

*“Diseño y planificación de sistemas RFID en entornos sanitarios interferentes”*

*Alumno:*

*Juan Salaberri Lecumberri*

*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

En este trabajo se estudia la posibilidad de instalar un sistema RFID en el ámbito sanitario. Las aplicaciones de dicha tecnología en este ámbito son innumerables y aumentan conforme aumenta el grado de madurez de esta tecnología que está en pleno desarrollo. Es por esto que RFID está sustituyendo progresivamente a otras tecnologías de identificación, como por ejemplo el código de barras.

La tecnología RFID permite la identificación y localización de objetos, animales o personas utilizando el canal radio, es decir, no es necesario el contacto físico.

Se han caracterizado varios recintos, tanto con medidas experimentales como con modelos empíricos y software de trazado de rayos, para analizar las posibilidades de instalar un sistema RFID en el ámbito sanitario. A pesar de que no se ha llegado a analizar un recinto perteneciente a este ámbito, sí que se han caracterizado recintos similares con los que se puede tener una idea bastante aproximada de las ventajas y las complicaciones de la instalación de un sistema RFID en dicho ámbito, e incluso se ha caracterizado un recinto con una casuística muy especial que ha obligado a realizar un análisis más profundo, obteniendo así un mayor conocimiento en la materia.

## ABSTRACT

In this paper we study the possibility of installing a RFID system in the health field. The applications of this technology in this area are endless, and increase with the degree of maturity of the technology that is in full development. This is why RFID is increasingly replacing other identification technologies such as bar code.

RFID technology allows the identification and location of objects, animals or people using the radio channel, i.e., no need for physical contact.

We have characterized several venues, both experimental measurements and empirical models and ray tracing software to analyze the possibilities of installing a RFID system in the health field. Although it has not come to analyze a compound belonging to this area, if that were characterized similar compounds that can have a fair idea of the advantages and complications of installing a RFID system in this area, and has even been characterized a compound with a very special case that has forced to make a deeper analysis, gaining more knowledge on the subject.

## AGRADECIMIENTOS

A mis padres, Jesús y Angelina, a mi hermano, Fermín, y a mi familia en general, en especial a mi tío Fermín.

A Lilia, que siempre me apoya en los momentos difíciles, a su familia y en especial a Miguel por concederme una entrevista.

A Francisco, Víctor, Miguel, Jorge y Aritz, pues sin ellos este proyecto no hubiera sido posible, y por los conocimientos que nos han otorgado.

A Pablo, Erik y Ángel, por los buenos y malos momentos que hemos vivido juntos durante la realización de este proyecto.

A todos, muchas gracias.



# ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVO .....	4
1.1. Introducción .....	4
1.1.1. Aplicaciones RFID.....	4
1.1.1.1. Tipos de aplicaciones.....	4
1.1.1.2. Aplicaciones en empresas de suministro de material médico/farmacéutico	7
1.1.1.3. Aplicaciones etiquetado y seguimiento de activos en hospitales.....	9
1.1.1.4. Aplicaciones en pacientes fuera del entorno sanitario .....	10
1.2. Objetivo .....	12
2. ESTADO DEL ARTE .....	13
2.1. Ondas de Radio.....	13
2.1.1. Sistema general de comunicaciones .....	13
2.1.2. Introducción a la propagación de ondas radioeléctricas .....	15
2.1.3. Propagación de Ondas de Radio.....	16
2.1.3.1. Propagación por onda directa ( <i>direct wave</i> ).....	16
2.1.3.2. Propagación por onda superficial o terrestre ( <i>surface wave</i> ).....	16
2.1.3.3. Propagación por onda espacial ( <i>space wave</i> ) .....	17
2.1.3.4. Propagación por onda ionosférica o celeste ( <i>sky wave</i> ) .....	17
2.1.4. Características de la propagación del canal radio <i>indoor</i> .....	18
2.1.5. Onda en espacio libre .....	18
2.1.5.1. Región de Fraunhofer .....	19
2.1.5.2. Atenuación .....	20
2.1.6. Ondas de multitrayecto o <i>multipath</i> .....	21
2.1.6.1. Reflexión, Refracción.....	21
2.1.6.2. Difracción.....	24
2.1.6.2.1. Obstáculo agudo.....	25
2.1.6.2.2. Obstáculo redondeado .....	27
2.1.6.2.3. Dos obstáculos aislados.....	28
2.1.6.2.4. Múltiples obstáculos. ....	30
2.1.6.3. Zonas de Fresnel.....	31
2.1.6.4. Perturbaciones: Desvanecimiento .....	32
2.2. Modelos de propagación en interiores .....	36

2.2.1. Introducción .....	36
2.2.2. Modelos de propagación en interiores .....	37
2.2.2.1. Espacio libre.....	37
2.2.2.2. Modelo COST 231 .....	39
2.2.2.3. Modelo ITU-R P 1238.....	40
2.2.2.4. Linear Path Attenuation Model .....	40
2.2.2.5. Dual Slope-Model .....	41
2.2.2.6. Modelo Keenan-Motley.....	42
2.2.2.7. Modelo Multi-Wall .....	42
2.3. LA TECNOLOGÍA RFID .....	43
2.3.1. Un poco de historia .....	43
2.3.2. Descripción de la tecnología.....	44
2.3.3. Principio de funcionamiento y componentes .....	46
2.3.3.1. Transpondedores.....	47
2.3.3.2. Lectores .....	57
2.3.3.3. Programadores .....	63
2.3.3.4. Middleware .....	64
2.3.3.5. Sistema de información.....	66
2.3.4. Tipos de sistemas.....	67
2.3.4.1. Sistemas de baja frecuencia (LF; 135 KHz) .....	68
2.3.4.2. Sistemas de alta frecuencia (HF; 13,56 MHz).....	69
2.3.4.3. Sistemas de ultra alta frecuencia (UHF; 433 MHz, 860 MHz, 928 MHz) .....	70
2.3.4.4. Sistemas en frecuencia de microondas (2,45 GHz, 5,8 GHz) .....	71
2.3.5. Comparativa con tecnologías competidoras.....	73
2.3.5.1. Códigos de barras .....	73
2.3.5.2. Botones de contacto .....	76
2.3.5.3. Tecnologías competidoras emergentes .....	77
2.3.5.4. RFID.....	78
2.3.6. Near Field Communications .....	80
3. METODOLOGÍA EMPLEADA .....	83
3.1. Proceso de medida .....	83
3.2. Material de medida .....	84
4. RESULTADOS DE SIMULACIÓN Y MEDIDA.....	88
4.1. Resultados .....	89



4.1.1. Medidas experimentales en el pasillo del primer piso del edificio departamental de los Tejos .....	89
4.1.2. Medidas experimentales en el laboratorio de radiocomunicaciones.....	100
4.1.3. Medidas experimentales en las galerías del casco antiguo de Pamplona .....	102
<b>5. CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS.....</b>	<b>105</b>
5.1. Conclusiones.....	105
5.2. Líneas futuras .....	106
<b>ANEXOS.....</b>	<b>107</b>
Anexo I. Entrevista al doctor Miguel Aizcorbe .....	107
Anexo II. Trabajo presentado y aceptado en el XXV Simposium Nacional de la Unión Científica Internacional de Radio (URSI 2010).....	110
Anexo III. Hojas de especificaciones del material de medida utilizado .....	114

# 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVO

## 1.1. Introducción

La tecnología de Identificación por Radiofrecuencia, RFID (Radio Frequency Identification) es, sin duda, una de las tecnologías de comunicación que ha experimentado un crecimiento más acelerado y sostenido en los últimos tiempos. Las posibilidades que ofrece la lectura a distancia de la información contenida en una etiqueta, sin necesidad de contacto físico, junto con la capacidad para realizar múltiples lecturas (y en su caso, escrituras) simultáneamente, abre la puerta a un conjunto muy extenso de aplicaciones en una gran variedad de ámbitos, desde la trazabilidad y control de inventario, hasta la localización y seguimiento de personas y bienes, o la seguridad en el control de accesos.

En los hospitales y la industria sanitaria, el uso de esta tecnología empieza a ser cada vez mayor, ya que facilita el control y localización de los equipos y dispositivos sanitarios y de los medicamentos por una parte, y por otra, la identificación y localización de pacientes. El uso de RFID en pacientes facilita el conocimiento exacto del tratamiento y las pruebas realizadas a éstos por el personal médico. A continuación se van a ver algunas de las aplicaciones de RFID en el ámbito sanitario.

### 1.1.1. Aplicaciones RFID

#### 1.1.1.1. Tipos de aplicaciones

Las aplicaciones de la tecnología RFID son muy diversas, y están repartidas en varios sectores de actividad. Un estudio realizado en la Universidad Politécnica de Milán en el que se analizaba la distribución de las diferentes aplicaciones relacionadas con RFID en estado de evolución avanzado, dio como resultado que la mayoría de las aplicaciones se encuentran en el sector servicios (donde se incluye el sector sanitario).

Se pueden englobar las aplicaciones de la tecnología RFID de forma global en dos campos:

- *Etiquetar*: Para mejorar la gestión
- *Localizar*: Para obtener una monitorización. La localización puede ser:
  - RFID zonal en la que los lectores están fijos en lugares estratégicos a lo largo del recinto y son capaces de detectar cuándo un objeto o persona, previamente etiquetado, pasa por un determinado lugar. Habitualmente emplea 433 MHz o 2,45 GHz.

- Localización por celdas (conocido como Real Time Locating System, RTLS), que combina RFID con otras tecnologías inalámbricas (generalmente WiFi) para obtener localización en tiempo real dentro de un entorno determinado.

Los RTLS se usan para seguir y localizar objetos utilizando etiquetas que se adhieren en los objetos o personas y dispositivos lectores que reciben la señal de dichas etiquetas, permitiéndoles calcular su posición. Pueden implementarse con diferentes tecnologías a parte de la tecnología WiFi (UWB, Infrarrojos, Ultrasonidos, etc.), pero los sistemas de localización basados en RFID ofrecen más ventajas, como que no necesitan línea de visión directa con la etiqueta, que son baratos y que son rápidos de leer [7]. El problema de RFID es que al no haber sido creada con fines de localización, presenta problemas a la hora de aplicarla con tal fin. Los más importantes son el elevado tiempo de latencia que necesitan y su cobertura limitada. El tiempo de latencia es tiempo que transcurre desde que una etiqueta envía su información hasta que puede volver a enviarla, que generalmente es de unos pocos segundos, tiempo suficiente para que un objeto móvil etiquetado realice varios movimientos no detectables.

Una solución RTLS que combina RFID y WiFi, utiliza etiquetas RFID activas para detectar la presencia, en combinación con un sistema de posicionamiento celular WiFi para localizar las etiquetas, estos sistemas son más baratos y evitan problemas de interferencias electromagnéticas.

Estas dos aplicaciones se desdoblán en función de los tipos de recursos, materiales o de personal.

- *Etiquetado de material:* Medicamentos y otros elementos de los hospitales (instrumental, implantes, bolsas de sangre).
  - Etiquetado de medicamentos para mejorar la gestión de los mismos y evitar falsificaciones.
  - Etiquetado de objetos para:
    - La localización inmediata, seguimiento, inventariado rápido o prevención de robos de bienes del hospital o equipamiento crítico.
    - Evitar olvidos de material quirúrgico en el cuerpo del paciente.
    - Asegurar que la medicación y su cantidad es la correcta.
    - Comprobar que las transfusiones de sangre son del grupo adecuado.

- Mejorar la gestión de las historias clínicas de los pacientes
- *Etiquetado de personal:* Personal sanitario y pacientes.
  - Identificación de pacientes para consultar su historial clínico o comprobar el tratamiento que siguen.
  - Localización de personas (personal sanitario o pacientes) en el centro médico.
  - Localización de personas mayores en sus domicilios.
  - Etiquetas que graban eventos, como pueden ser visitas de la enfermera al paciente, visitas de familiares, traslado del paciente a quirófano, etc.
  - Monitorización de constantes vitales.
  - Seguridad y control de accesos a zonas restringidas.

Por otra parte, diversos estudios afirman que las cinco aplicaciones de RFID que tendrán un crecimiento más rápido en el ámbito sanitario son:

1. Cadena de suministro, es decir, seguimiento de productos farmacéuticos y de instrumental de alto valor.
2. Sistemas de localización en tiempo real (RTLS): localización y seguimiento de pacientes y de recursos y activos de valor.
3. Seguimiento de equipamientos en alquiler.
4. Seguimiento de registros de documentos.
5. Gestión de materiales peligrosos y de residuos.

Finalmente, los entornos donde se considera que pueden implantarse estas aplicaciones son:

- En las empresas que suministran material médico o farmacéutico a las instituciones sanitarias.
- En las instituciones sanitarias: hospitales, centros de salud, residencias de ancianos, etc.

- En ubicaciones fuera del entorno sanitario: el domicilio del paciente, la oficina, en movimiento.

A continuación se van a analizar cada uno de estos apartados de forma más detallada, analizando algunos de los casos particulares de más relevancia a nivel mundial.

### 1.1.1.2. Aplicaciones en empresas de suministro de material médico/farmacéutico

En la industria farmacéutica, las falsificaciones de medicamentos son el principal problema, en todo el mundo, pero sobre todo en Estados Unidos. La Food and Drug Administration (FDA) ha elegido la tecnología RFID para el etiquetado de determinados medicamentos, decisión que ha impulsado la regulación de RFID en este sector, donde se debe garantizar la trazabilidad del medicamento, desde su fabricación hasta su llegada a la farmacia [19].

En Europa, el uso de la RFID por parte de la industria farmacéutica continuará incrementándose debido a la falsificación de productos en el mercado, debida principalmente a las deficiencias en la cadena de suministro y al comercio paralelo legalizado de los fármacos entre los distintos países de la UE. Según un estudio de Frost & Sullivan los mercados europeos de RFID ingresaron en torno a 14 millones de euros en 2005 en el sector farmacéutico, y se estima que se alcancen los 350 millones de euros en 2012.

A pesar del gran potencial de la RFID en el sector farmacéutico, la falta de interoperabilidad y armonización de estándares es una cuestión clave. Para hacer posible la implantación los países de la UE y los proveedores de esta tecnología tendrán que llegar a un consenso.

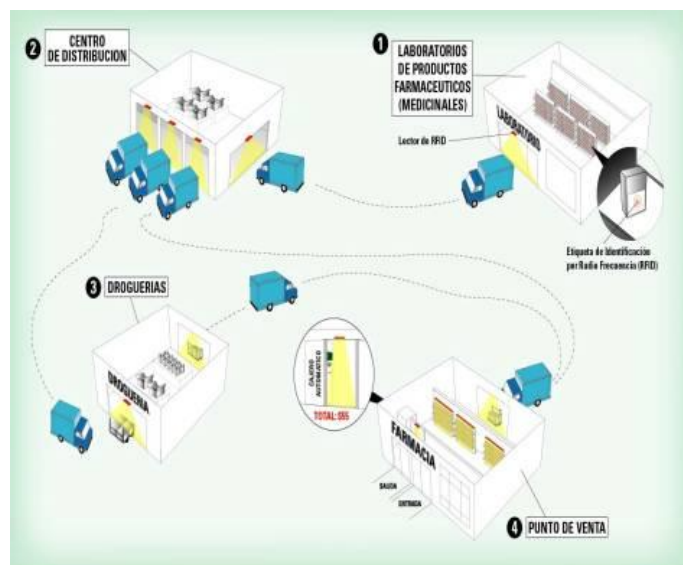


Figura 1.1. Esquema de la trazabilidad del medicamento, desde su fabricación hasta su llegada a farmacia

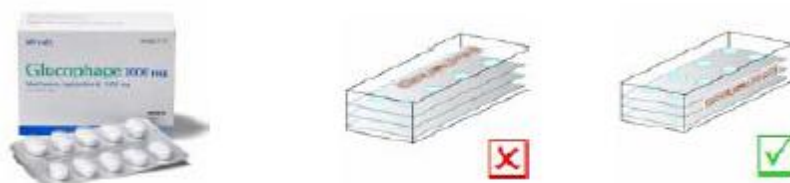
Se van a ver ahora algunas cuestiones básicas que hay que tener en cuenta a la hora del etiquetado de medicamentos, debidas a las propiedades de los materiales que nos encontremos [6].

Si se pretende etiquetar una etiqueta en el frasco de un medicamento líquido, lo recomendable es colocar el tag en una de las esquinas del cartón del embalaje, ya que los líquidos absorben las ondas electromagnéticas y por tanto si se coloca el tag en el frasco corremos el riesgo de que no se pueda detectar el tag [21]:



**Figura 1.2. Recomendación a la hora de colocar el tag en un medicamento líquido**

Por otro lado si se pretende etiquetar un medicamento comprimido con embalaje de cartón y blísteres de plástico y aluminio, nos encontramos con el problema del material reflectante del blíster. Por ello lo recomendable es colocar la etiqueta en el lateral del embalaje en posición perpendicular con respecto al blíster.



**Figura 1.3. Recomendación a la hora de colocar el tag en un medicamento líquido**

A continuación se exponen algunos casos en los que la tecnología RFID ha sido aplicada con éxito en la industria farmacéutica y en el sector de suministro de material sanitario.

- El fabricante de medicamentos genéricos Mallinckrodt Pharmaceuticals, implementó en 2005 un sistema basado en RFID con el fin de vigilar los medicamentos a lo largo de la cadena de suministro. Utiliza tecnología procedente de ADT Security Services y OAT Systems.
- Sun Microsystems ha desarrollado una solución RFID para la autenticación de medicamentos que proporciona trazabilidad en cada una de las etapas de la cadena de suministro.

- Pfizer posee un piloto en este ámbito que utiliza la RFID para evitar falsificaciones de la píldora Viagra.
- Intelligentz Corporation ha desarrollado un sistema para eliminar las falsificaciones de medicamentos utilizando tecnología RFID. Una base de datos genera un código unívoco para cada pastilla, código que se envía a los fabricantes a través de Internet.
- Zimmer, multinacional distribuidora de productos de cirugía ortopédica, ha instalado lectores RFID de Maguellan Technology a través de sus centros operativos en Nueva Zelanda, Australia, Japón y Tailandia. Los implantes ortopédicos individuales forman parte de un kit más amplio que se suministra a hospitales y en escenarios de operaciones. La creación de los kits se lleva a cabo con un 100% de precisión, asegurando que todos los ítems son fácilmente visibles para facilitar la calidad del envío previo y su posterior recepción. Cuando esos kits son devueltos para su actualización, limpieza y acondicionamiento anual, es necesario revisarlos uno a uno, cuando únicamente el 3% del contenido suele estar utilizado. Las pérdidas de tiempo y costes eran significativas hasta que el etiquetado de ítems mediante RFID ha acelerado dicha comprobación además de que la precisión en el registro de inventarios ha mejorado drásticamente.
- En Malasia, tres instituciones médicas están probando un sistema RFID para mejorar el seguimiento de las bolsas de sangre y disminuir los errores por incompatibilidad sanguínea, entre otros avances. Esta solución RFID de reciente desarrollo, llamada BloodBank Manager, ha sido desarrollada conjuntamente por el siemens Malaysia Sdn Bhd e Intel MSC Sdn Bhd. La solución asegurará la transparencia y la responsabilidad de los registros, etiquetado y seguimiento de productos sanguíneos, se podrán crear perfiles de pacientes y generar históricos de donaciones y transfusiones así como perfiles de donantes y pacientes.
- Microsoft lanzó en 2006 el BizTalk RFID Server 2006 que permite a las empresas mejorar la gestión de su cadena de suministro gracias a la integración de su software de gestión con los datos procedentes de sistemas RFID. Esta tecnología es perfectamente aplicable al suministro de material sanitario.

### 1.1.1.3. Aplicaciones etiquetado y seguimiento de activos en hospitales

Se estima que el coste por robo de equipamiento y bienes en los hospitales estadounidenses está cercano a los 4000 dólares anuales por cada cama, que al año se convierten en unas pérdidas de 4 mil millones de dólares. También hay que destacar que de cada 10000 intervenciones, se olvida un objeto en el cuerpo de un paciente, que al año son 1500 objetos, con los consiguientes riesgos para la salud y pérdidas económicas por aumento del tiempo de hospitalización. A

continuación se pueden ver algunos casos en los que se ha utilizado la tecnología RFID para solucionar este tipo de problemas.

- Medline Industries es una compañía que ofrece sistemas RFID para realizar seguimiento de gasas quirúrgicas durante las operaciones.
- Precision Dynamics Corporation (PDC), desarrollador de productos para el cuidado de la salud, ha desarrollado pulseras que incorporan tanto código de barras como tecnología RFID para identificación de pacientes.
- Hitachi Maxwell Ltd. está dando los pasos para convertir las aplicaciones en la salud en un objetivo estratégico de sus chips RFID. Además de ampliar su producción, la compañía está desarrollando nuevos productos, como chips RFID que sirven de ayuda en el seguimiento de material de diagnóstico como láseres o catéteres.
- El hospital Mercy Medical (Des Moines, Iowa) utiliza un sistema RFID para ayudar a realizar el seguimiento de sus inventarios de cardiovasculares, balones de oxígeno, cables de filtro, dispositivos de trombectomía y otros muchos consumibles médicos en su laboratorio de cateterización. El sistema RFID, proporcionado por WaveMark, utiliza tags pasivos de HF que cumplen con el estándar ISO 15693. Cuenta con botiquines inteligentes dotados de lectores RFID que leen los ítems en sus estantes, además, lectores RFID fijos en puntos de servicio y un software basado en web para monitorizar, analizar y gestionar inventarios, completan el sistema. WaveMark gestiona el sistema como un servidor de hosting en un centro de datos seguro en Dallas. El hospital está empleando el sistema para hacer el seguimiento de los 1600 ítems en 16 botiquines inteligentes, que hacen el recuento automático de los inventarios, lo que facilita a su vez el recambio de ítems y que el hospital sepa en todo momento qué está pasando con sus inventarios, pueda analizar el uso del producto, realizar reposiciones y sacar productos que no se usan. También puede mejorar el seguimiento de los números de los lotes y fechas de caducidad, quitando los ítems que han caducado o que están a punto de hacerlo.

#### 1.1.1.4. Aplicaciones en pacientes fuera del entorno sanitario

En este punto se va a tratar sobre los casos en que los pacientes salen del entorno sanitario, pero siguen requiriendo determinados cuidados o facilidades específicas que vienen determinadas por su estado de salud. Algunos ejemplos de esta casuística se pueden ver a continuación [20].

- VeriChip ha desarrollado y patentado un sensor RFID implantable, aprobado por la FDA, que permite entre otras funciones, identificar al paciente, así como realizar seguimiento de sus movimientos. De este modo, el personal médico puede disponer de los datos del paciente en



tiempo real, y acelerar así los protocolos de actuación. Esto resulta especialmente útil para los pacientes crónicos. El sensor almacena un código de 16 dígitos que sirve de enlace con la base de datos del hospital donde está almacenada la información. A continuación pueden verse algunas imágenes ilustrativas del VeriChip [4].



Figura 1.4. El VeriChip y sus características



Figura 1.5. Ejemplo de implantación del VeriChip

- El centro de investigación austriaco Austrian Research Centers GmbH ha desarrollado un prototipo de sistema de monitorización de pacientes cardíacos para mostrar al mercado el potencial de la tecnología NFC frente al concepto original de RFID. La aplicación se conoce como Mobitel (Mobile Telemonitoring for Heart Failure Patients) y consiste en un prototipo que incorpora NFC en el terminal de monitorización del paciente. El paciente,

en lugar de tener que ir al hospital para realizar las revisiones periódicas de su estado de salud, puede realizar éstas desde casa, y además con mayor asiduidad. El paciente se mide diariamente la presión arterial y ritmo cardíaco y pasa dicha información al móvil vía NFC. El móvil a su vez transmite los datos vía GPRS o UMTS a una base de datos centralizada accesible vía web. La aplicación es capaz de detectar desviaciones significativas y alertar al médico en caso de que los datos no sean los esperados. El paciente recibe realimentación del tratamiento a través del móvil. El componente NFC empleado es un chip suministrado por Philips y un microcontrolador embebido. Este modulo se inserta en el dispositivo médico de medida (en este caso un medidor de la tensión sanguínea). Sin más que acercar el móvil, automáticamente se transmiten las medidas realizadas al teléfono y éste inicia la transmisión de los datos al centro de monitorización donde puede ser accesible vía web previa autenticación [5].



Figura 1.6. Sistema Mobitel

## 1.2. Objetivo

En este proyecto se va a explicar y analizar la tecnología RFID tanto de forma teórica como experimental. Concretamente se analizarán las características y aplicaciones de esta tecnología en entornos interiores en general, y más concretamente en entornos sanitarios.

## 2. ESTADO DEL ARTE

### 2.1. Ondas de Radio

#### 2.1.1. Sistema general de comunicaciones

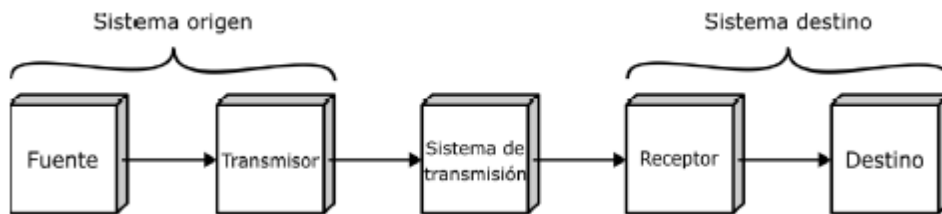


Figura 2.1. Sistema general de comunicaciones

La fuente genera un mensaje (voz, imagen de TV, datos, etc.). Si éste no está en forma eléctrica, es convertido por un transductor dando lugar a la señal eléctrica en banda base, donde banda base se refiere a la banda de frecuencias generada por la fuente [1].

El transmisor procesa esta señal para que sea transmitida de forma eficiente por el canal. Puede incluir conversión A/D, preénfasis, codificación, modulación, etc.

El canal es el medio físico a través del cual se envía la señal transmitida (ejemplos: cable de pares, coaxial, fibra óptica, espacio libre, etc.).

El receptor recupera la señal en banda base original a partir de la señal recibida, deshaciendo el procesado hecho en transmisión. Puede incluir amplificación, filtrado, conversión D/A, deénfasis, demodulación, etc. La salida del receptor se convierte al formato original (si éste no era eléctrico) a través del transductor de salida.

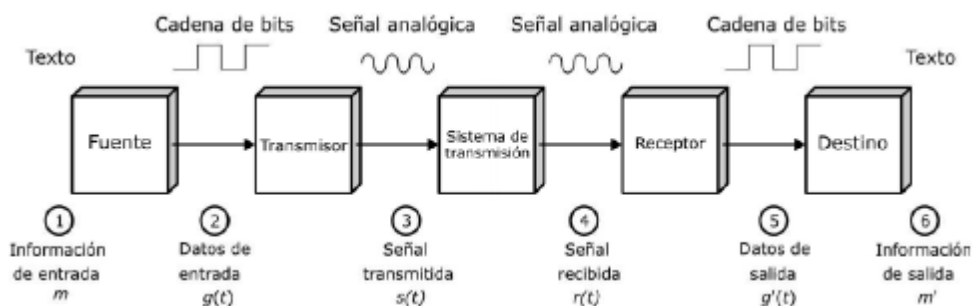


Figura 2.2. Transformación de la señal en las diferentes fases de transmisión

Vamos a centrarnos en el canal de transmisión, en el medio físico por el cual se transmite, desde el transmisor hasta el receptor la señal que queremos compartir.

Existen varios medios por los cuales se puede transmitir una señal, éstos los podemos dividir en dos grandes grupos:

- Medios Guiados
- Medios No Guiados

Los medios guiados son aquellos en los que las ondas son guiadas, conducidas a lo largo de un camino físico, desde el transmisor hasta el receptor, por lo que no nos van a interesar.

Nos centraremos en los medios no guiados, ya que es el canal que vamos a utilizar para realizar nuestro envío de datos.

Los medios no guiados, son aquellos que proveen un medio para la transmisión de ondas electromagnéticas pero sin guiarlas, éstos pueden ser, por ejemplo, el aire, el agua o el vacío...y necesitan antenas para la transmisión de datos. Cada medio de transmisión viene siendo un servicio que utiliza una banda del espectro de frecuencias. A todo el rango de frecuencias se le conoce como espectro electromagnético. El espectro electromagnético ha sido un recurso muy apreciado y como es limitado, tiene que ser bien administrado y regulado. Los administradores del espectro en el ámbito mundial son la WRC (*World Radiocommunication Conference*) de la ITU-R (*International Telecommunications Union Radiocommunications sector*).

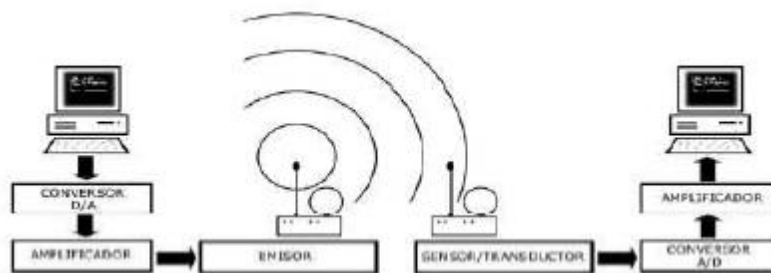


Figura 2.3. Sistema de comunicaciones no guiado

Existen varios medios no guiados, pero nos centraremos en las ondas de radio y microondas, puesto que las frecuencias que se van a manejar son las pertenecientes a éstas.

Hay dos configuraciones para la emisión y recepción de esta energía: direccional y omnidireccional. En la direccional, la antena de transmisión emite toda la energía concentrándola en un haz que es emitida en una cierta dirección, por lo que tanto las antenas el emisor como el receptor deben estar perfectamente alineados. En el método omnidireccional, la antena emite la radiación de la energía de un modo disperso (en múltiples direcciones), por lo que varias antenas

pueden captarla. Cuanto mayor es la frecuencia de la señal a transmitir, más factible es confinar la energía en un haz direccional (la transmisión unidireccional).

### 2.1.2. Introducción a la propagación de ondas radioeléctricas

Se denomina comunicación vía radio a toda aquella que emplea un medio de transmisión inalámbrico, ya sea en el ambiente atmosférico (radio enlace terrenal) o en espacio libre (radio enlace espacial).

El tipo de transporte por el que se lleva la información es una onda electromagnética (EM). Dicha onda está formada por diversos campos electromagnéticos configurados de manera que se propaguen por un medio inmaterial en la dirección y sentido deseado, con una forma “modulada” debido a la información que se transporta y ajustada a los requerimientos que garanticen la buena comunicación.

Mediante una onda de carácter sinusoidal, se recordarán los conceptos básicos relativos a una onda.

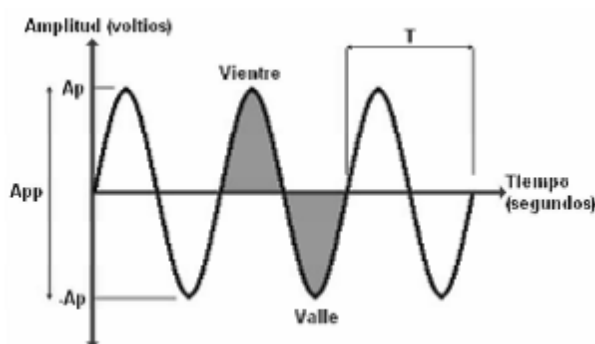


Figura 2.4. Elementos de una onda electromagnética

Donde:

$A_p$ : Amplitud de pico.

$A_{pp}$ : Amplitud pico a pico.

$T$ : Periodo, tiempo que transcurre entre dos valores idénticos consecutivos.

$F$ : Frecuencia, la cual será la inversa de  $T$ .

$\Theta$ : Fase, instante de tiempo relativo, referido al periodo de la onda y al origen de tiempos considerado.

Otro aspecto a considerar será el de conocer los aspectos básicos de la propagación de las ondas electromagnéticas. Si definimos los campos que intervienen en ellas.

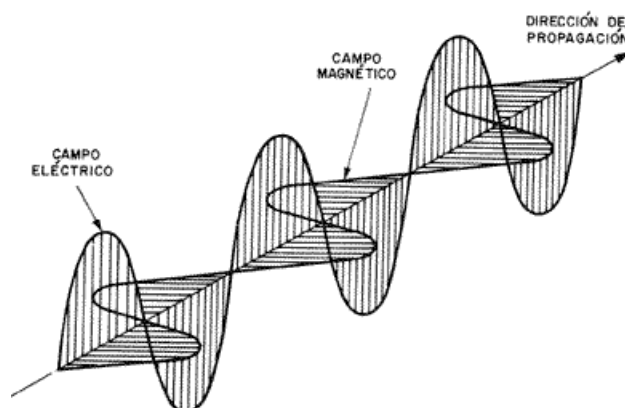


Figura 2.5. Campos de una onda electromagnética

Donde:

- Campo eléctrico (E), perpendicular al Magnético (H),
- Campo eléctrico (E) y Magnético (M), perpendicular a la dirección de propagación
- Polarización, dirección donde se halla el vector E dentro de la onda EM

### 2.1.3. Propagación de Ondas de Radio

Existen varias maneras de que las ondas se propaguen y lleguen a su destino, dependerá de la frecuencia con la que sean transmitidas y del medio por el que. Los resultados de un enlace dependen, de la potencia del transmisor, de la sensibilidad del receptor, tipo de transmisión, antena, ambiente en el que está instalada y del modo de propagación de las ondas. Si el medio en que se propagan fuera uniforme las ondas se moverían en línea recta, pero las diferencias de características del medio que ellas encontrarán en su viaje (sólidos, líquidos, gases, vacío, conductores, etc.) determinan su comportamiento real (reflexiones, refracciones, difracciones, atenuaciones).

Sin entrar en detalles, puesto que después se procederá a estudiar el tipo y las características que nos interesa, se describen a continuación los tipos de propagación más comunes.

#### 2.1.3.1. Propagación por onda directa (*direct wave*)

La señal va del transmisor al receptor por un camino directo sin obstrucciones ni reflexiones de importancia.

#### 2.1.3.2. Propagación por onda superficial o terrestre (*surface wave*)

La onda de superficie es una que se mantiene adyacente a la superficie de la tierra siguiendo su curvatura por un proceso de difracción. Tendrá polarización

vertical a partir de una corta distancia del transmisor pues cualquier componente del campo eléctrico horizontal es rápidamente absorbida por la tierra.

### 2.1.3.3. Propagación por onda espacial (*space wave*)

Si las antenas se encuentran elevadas sobre el terreno la señal puede propagarse sin necesidad de la onda terrestre aunque siguen haciéndolo por la baja atmósfera.

La onda espacial está compuesta habitualmente por dos rayos: uno directo entre la antena transmisora y la receptora y otro reflejado en tierra que partiendo simultáneamente de la antena transmisora, se refleja en la tierra y llega a la antena receptora con cierto retraso. La diferencia de distancia recorrida por el rayo directo y el reflejado determina la intensidad de la señal en el receptor debido al fenómeno de "interferencia de ondas".

### 2.1.3.4. Propagación por onda ionosférica o celeste (*sky wave*)

En las regiones superiores de la atmósfera se producen los fenómenos más importantes relacionados con la propagación de señales a largas distancias por medios naturales, allí se establecen nubes de electrones libres bastante estratificadas producidas principalmente por la radiación ultravioleta del Sol. Esas zonas tienen la capacidad de "reflejar" de nuevo hacia la tierra las ondas de radio que inciden sobre ellas haciendo posible comunicaciones alrededor del globo a pesar de su esfericidad.

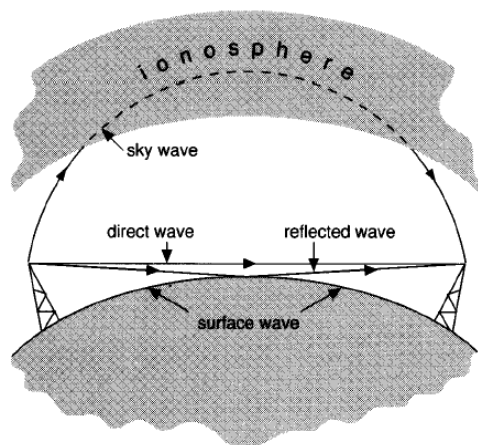


Figura 2.6. Tipos de propagación por ondas

Durante la transmisión de la señal a través del canal de comunicaciones, ésta se degrada por diversas causas, las cuales tendremos que evitar manipulando al información para que ésta viaje lo más fiel y comfortable posible.

Pero procederemos al estudio del tipo de propagación que nos interesa para la realización del proyecto, la propagación en recintos cerrados.

#### 2.1.4. Características de la propagación del canal radio *indoor*

Se entiende por propagación *indoor*, aquella que se da en un ambiente cerrado. En general se rige por los mismos mecanismos de propagación que en espacio abierto, aunque éstos son mucho más marcados. En ambientes *indoor*, las distancias son cortas predominando la propagación multi-trayecto y se da una mayor susceptibilidad a las variaciones temporales del canal.

La propagación de ondas de radio en un entorno cerrado se puede modelar con exactitud mediante las ecuaciones de Maxwell, sin embargo, el proceso sería demasiado complicado y costoso en tiempo.

En un entorno real, las ondas provenientes de dispositivos móviles, se transmiten a través del aire, de los edificios y otros obstáculos que hacen que las ondas se reflejen sobre ellos y recorran distintos caminos hasta alcanzar al receptor. El movimiento de los objetos dentro del propio canal o del mismo receptor causa un aparente desplazamiento de la frecuencia portadora del sistema.

Para sistemas de radio que operan en ambientes *indoor*, pocas veces presenta únicamente la condición de transmisión por onda directa entre transmisor y receptor, por lo que los fenómenos a considerar son más complicados que en los casos que se presenta únicamente dicha condición. En general en los sistemas implementados en entornos cerrados, presentan la característica de transmisión por onda no directa, es decir, que predominan e intervienen los fenómenos de la reflexión, difracción y dispersión.

Cada día cobra mayor importancia la comprensión y el desarrollo de modelos de propagación a nivel *indoor*, debido a la masiva incursión de tecnología y sistemas de comunicación que operan en éste ambiente, tales como: RFID.

#### 2.1.5. Onda en espacio libre

Se dice que hay propagación en espacio libre, cuando entre el transmisor (Tx) y el receptor (Rx) no hay obstáculos.

La propagación en el espacio libre, puede modelarse mediante la ecuación de Friis, la cual permite estimar la potencia recibida por un receptor que se encuentra a una distancia  $d$  del transmisor.

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



Donde:

$P_t$  = la potencia transmitida.

$P_r(d)$  = potencia recibida en función de la distancia de separación entre transmisor y receptor.

$G_t$ ;  $G_r$  = las ganancias de las antenas transmisora y receptora.

$\lambda$  = la longitud de onda en metros.

$L$  = el factor de atenuación.

### 2.1.5.1. Región de Fraunhofer

Se conoce como región de Fraunhofer o región de campo lejano a la región que está más allá de la distancia de campo lejano  $d_f$  medida a partir del transmisor; para la cual se garantiza la validez de la ecuación de Friis. La distancia de Fraunhofer relaciona la mayor dimensión física de la antena  $D$ , con la longitud de onda de la señal transmitida, y se define así:

$$d_f = \frac{2D^2}{\lambda}$$

Además, la distancia de campo lejano debe satisfacer que:

$$\lambda \ll d_f \gg D$$

Para  $d = 0$ , tampoco puede aplicarse la ecuación de potencia vista anteriormente, por lo que se recurre con frecuencia a una distancia de referencia  $d_0$  para la cual es conocido el valor de potencia recibida  $P_r(d_0)$ , la cual se calcula con la ecuación de Friis o puede ser medida promediando la potencia obtenida en varios puntos ubicados radialmente a una distancia  $d_0$  del transmisor. La distancia  $d_0$  debe ser mayor que la distancia de Fraunhofer, y a su vez debe ser menor que cualquier distancia práctica utilizada en el sistema de comunicación a evaluar.

Se puede estimar la potencia recibida a una distancia  $d$  respecto a la potencia conocida en  $d_0$  mediante la siguiente ecuación:

$$P_r(d) = P_r(d_0) \left( \frac{d_0}{d} \right)^2 \quad d \geq d_0 \geq d_f$$



Figura 2.7. Región de Fraunhofer

### 2.1.5.2. Atenuación

La atenuación es mínima, siendo únicamente la que se produce por el espacio abierto o agentes meteorológicos. Las ondas electromagnéticas (EM) al propagarse por el aire, se puede observar que la potencia recibida disminuye inversamente con el cuadrado de la distancia ( $1/d^2$ ).

La atenuación dependerá fundamentalmente de dos valores, la distancia y la frecuencia.

$$L = 32'45 + 20 \log f + 20 \log d$$

Aquí  $f$  es la frecuencia en MHz y  $d$  la distancia en kilómetros. Esta ecuación es válida para ambientes donde la onda viaja en un material homogéneo, específicamente el aire o el vacío y debe de existir una trayectoria directa sin obstrucciones entre transmisor y receptor.

Dentro de la atenuación, conviene hablar sobre la producida por gases y por vapores atmosféricos. En la atmósfera, encontramos diversas partículas sustentadas en el aire, las cuales, son principalmente compuestos de  $O_2$  y  $H_2O$ , estos, absorben energía electromagnética produciendo una atenuación que empieza adquirir importancia a partir de que se superan los 10 Ghz.

En nuestro caso, el trayecto va a ser próximo al suelo, ya que la transmisión se realizará desde unos pocos metros sobre el suelo, lo que también repercute en el ángulo, el cual será de poca inclinación. Por tanto, se define dicha atenuación como:

$$A_a = Y_a d$$

Donde  $d$  es la distancia y  $Y_a$  es la atenuación específica (dB/Km) definida por:

$$Y_a = Y_0 + Y_w$$

Donde  $\gamma_0 + \gamma_w$  serán la suma de las atenuaciones específicas para el oxígeno y el vapor de agua.

### 2.1.6. Ondas de multitrayecto o *multipath*

En comunicaciones de señales de radio muy pocas veces existe únicamente transmisión directa entre las antenas Tx y Rx, de tal forma que la señal transmitida debe seguir trayectos indirectos para alcanzar el receptor, por lo que en estos casos se dice que hay propagación multi-trayecto (*multipath*).

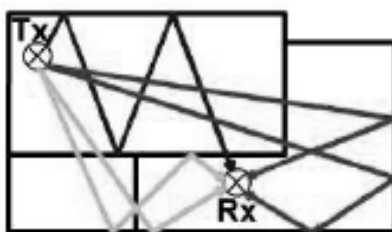


Figura 2.88. Esquema de transmisión multitrayecto

La propagación multipath se produce, básicamente, gracias a fenómenos tales como la reflexión, difracción, y dispersión. Las ecuaciones de Fresnel, son un conjunto de relaciones matemáticas que describen estos fenómenos en función de las características de la onda incidente.

#### 2.1.6.1. Reflexión, Refracción

Se entiende por **reflexión** el cambio en la dirección de propagación de un fenómeno ondulatorio, como las ondas radioeléctricas, cuando inciden sobre una superficie reflectante.

Cuando una señal electromagnética que se propaga a través de un medio, choca contra una superficie de dimensiones mucho mayores que la longitud de onda de la señal, y cuyas propiedades dieléctricas son distintas a las del medio anterior, se produce la reflexión.

En ocasiones, la antena receptora recibe una señal proveniente de la reflexión de un objeto o una superficie, lo cual, por lo general no es muy deseable, ya que a la antena receptora pueden llegarle, además de la señal directa, varias señales procedentes de varios puntos, con lo cual llegan al receptor varias señales desfasadas en el tiempo.

Si la superficie contra la que choca la onda es un dieléctrico perfecto, no se producen pérdidas de energía por absorción, en éste caso, parte de la energía se transmite dentro del segundo medio (**refracción**) y parte de la energía se refleja hacia el primer medio.

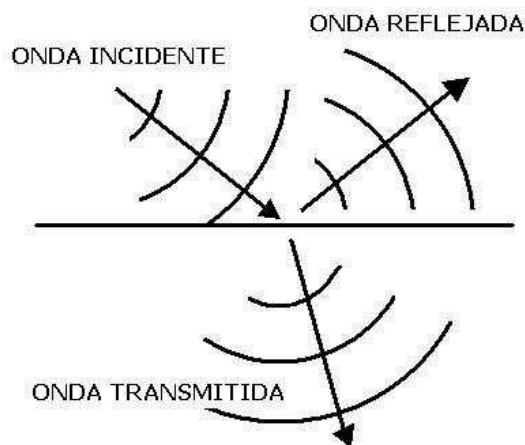


Figura 2.9. Ley de Fresnel

Por otro lado, si el segundo medio es un conductor perfecto, entonces toda la energía incidente es reflejada hacia el primer medio y no se producen pérdidas de energía.

La intensidad de campo eléctrico transmitido ( $E_t$ ), y reflejado ( $E_r$ ), pueden relacionarse a la intensidad de campo incidente  $E_i$  mediante el coeficiente de reflexión de Fresnel ( $\Gamma$ ). Este coeficiente depende de las propiedades del material, ángulo de incidencia, frecuencia y polarización de la onda, por tanto, si relacionamos, definimos los coeficientes de reflexión y refracción.

$$r = \frac{E_r}{E_i} \quad t = \frac{E_t}{E_i}$$

Siguiendo con lo enunciado por Fresnel, es necesario definir polarización como aquella que nos indica la dirección del campo eléctrico de la onda y su variación con el tiempo.

Así pues, partiendo de los campos electromagnéticos, la naturaleza de la reflexión varía con la dirección de polarización del campo eléctrico.

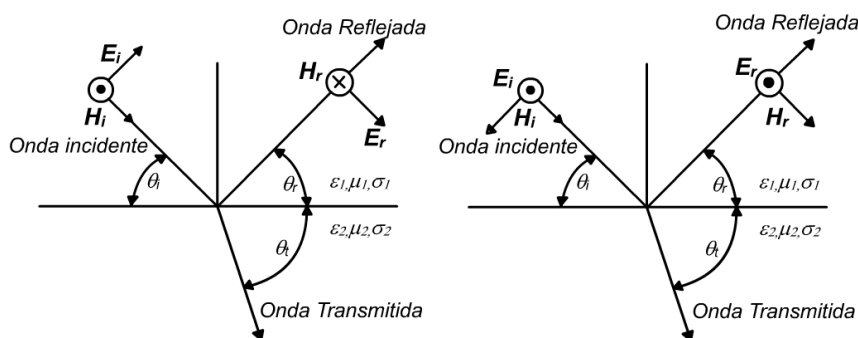


Figura 2.90. Reflexión según el tipo de polarización del campo eléctrico

Por ello, si el campo eléctrico tiene polarización vertical, es decir, su polarización es paralela al plano de incidencia, entendiendo por plano de incidencia, el plano que contiene los rayos incidentes y reflejados.

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

Si el campo eléctrico tiene polarización horizontal, es decir, su polarización es normal al plano de incidencia.

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

También definiremos los coeficientes de transmisión como:

$$t_{\parallel} = \frac{E_t}{E_i} = 1 - r_{\parallel} \quad t_{\perp} = \frac{E_t}{E_i} = 1 - r_{\perp}$$

En general, estos coeficientes tienen valores complejos puesto que el módulo nos da el porcentaje de amplitud transmitida o reflejada en función de la onda incidente y la fase nos indica el cambio de fase del campo eléctrico al cambiar de medio.

Como ya hemos comentado, cuando una onda choca contra un conductor perfecto, la totalidad de la energía es reflejada al mismo medio, es decir, no hay pérdidas por transmisión ni por absorción, por lo que la intensidad del campo eléctrico de la onda reflejada debe ser igual a la intensidad del campo eléctrico incidente, se cumple que:  $r_{\parallel} = 1$ , y  $r_{\perp} = -1$

Llamamos **dispersión** cuando una onda choca contra objetos o superficies cuyas dimensiones son mucho menores que la longitud de onda o cuando se encuentra una gran cantidad de objetos por unidad de volumen en el espacio de propagación. Otra situación en la que puede aparecer es cuando la superficie no es perfectamente plana o presenta irregularidades en el canal

En estos casos, la energía de la onda es esparcida en diferentes direcciones y por tanto producen un incremento de energía en la señal recibida.

Cuando la onda propagada encuentra una superficie con rugosidades, esta superficie se puede examinar, aplicando el criterio de Rayleigh. Este criterio define una altura crítica ( $h_c$ ) de protuberancias de la superficie para un ángulo de incidencia  $\vartheta_i$  definido por:

$$h_c = \frac{\lambda}{8 \sin \theta_i}$$

Una superficie suave se presenta si desde su mínima a su máxima protuberancia  $h$  es menor que  $h_c$  y es considerada rugosa si su máxima protuberancia es mucho mayor que  $h_c$ .

### 2.1.6.2. Difracción

Entendemos como **difracción**, al fenómeno característico de las propiedades ondulatorias de la materia, por lo cual un obstáculo que se opone a la propagación libre de las ondas se presenta como una fuente secundaria que emite ondas derivadas en todas las direcciones, gracias a este fenómeno, las ondas rodean al obstáculo y consiguen salvarlo.

La difracción es un fenómeno provocado por el principio de Huygen que permite que las ondas EM lleguen a algunos puntos detrás de obstrucciones a pesar de no existir visión directa. Bajo el principio de Huygen todos los puntos del frente de onda pueden ser considerados como fuentes puntuales esféricas para la producción de ondas secundarias y, que éstas pequeñas ondas se combinan para producir un nuevo frente de onda en la dirección de propagación.

La naturaleza de la difracción, a altas frecuencias, depende de la geometría del obstáculo, así como de la amplitud, fase y polarización de la onda.

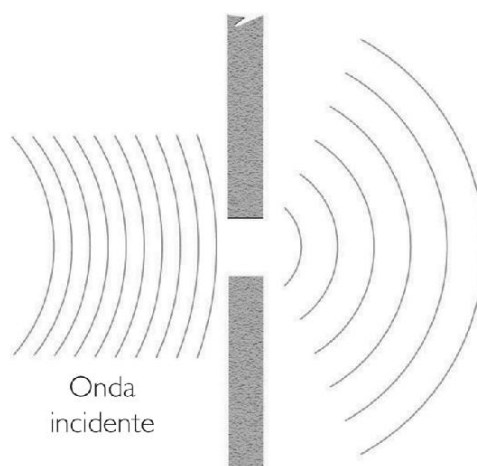


Figura 2.101. Difracción

Como bien se ha dicho en el párrafo anterior, la difracción depende de la geometría del objeto que actúa de obstáculo pero también del número de objetos que existen entre el Tx y el Rx.

Para calcular el efecto de difracción sobre obstáculos es complicado, por ello se recurre a métodos aproximados, los cuales proporcionan buenos resultados. Conviene definir que se considera visibilidad directa si no existe ningún obstáculo en la primera zona de Fresnel (primer elipsoide). Se denomina despejamiento a la distancia entre el rayo directo y el obstáculo, definiéndose despejamiento por  $h$ .



Figura 2.112. Tipos de difracción

Se puede observar que habrá pérdidas por difracción aunque el rayo pase por encima del obstáculo si  $-0.6R_1 \leq h \leq 0$ . Donde  $R_1$  es el radio correspondiente a la primera zona de Fresnel.

El primer problema es catalogar una protuberancia como obstáculo. Se define el recorrido interdecílico,  $_h$ , como la diferencia entre la cota superada en el 10% y el 90% de los puntos, este parámetro define la irregularidad o la ondulación del terreno.

En ITU-R P.526, se observa la metodología a seguir para calcular la pérdida y califica el terreno como:

- Poco ondulado: irregularidad pequeña y se utiliza tierra esférica (curva).
- Terreno ondulado: pequeñas colinas no dominantes.  
Se resuelven con métodos empíricos (Ej: ITU-R P.1546)
- Obstáculos aislados: arista/redondeados y aislado/múltiples.

En primera aproximación, los obstáculos se asimilan como a una cuña de espesor despreciable (filo de cuchillo) o a una arista gruesa y redondeada definida por el radio de curvatura en la cima  $r$ .

#### 2.1.6.2.1. Obstáculo agudo

Como se puede observar en la figura, los parámetros geométricos básicos para el estudio del obstáculo agudo son: el despejamiento ( $h$ ), distancias ( $d_1$  y  $d_2$ ) a los extremos del enlace y, alternativamente, el ángulo de difracción ( $\theta$ ).

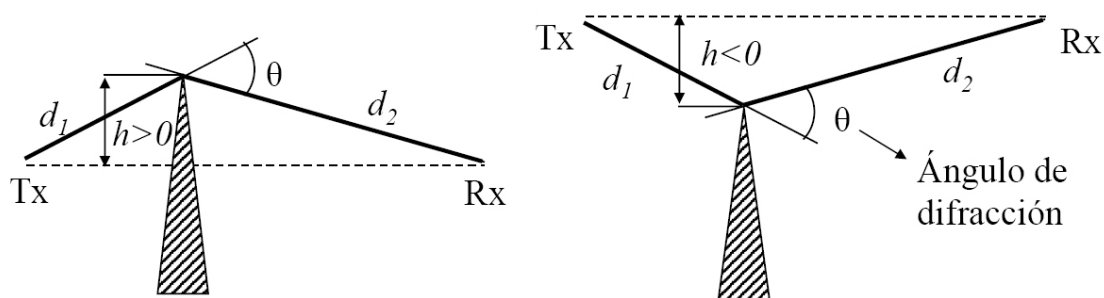


Figura 2.123. Difracción de tipo filo de cuchillo

Tratándolo desde un punto de vista práctico, para las aplicaciones usuales de la radiocomunicación, se dispone de curvas o aproximaciones numéricas como:

$$L_D(v) = 6'9 + 20 \log_{10} \left( \sqrt{(v - 0'1)^2 + 1} + v - 0'1 \right) \text{ dB} \quad \text{Si } v > -0'7$$

$$L_D(v) = 0 \text{ dB} \quad \text{Si } v < -0'7$$

Siendo  $L_D(v)$  la atenuación por difracción, en función del parámetro ( $v$ ) el cual se define como:

$$v = (2)^{1/2} h/R1$$

Sabiendo que  $h/R1$  es el despejamiento normalizado.

Para ver el efecto de la difracción, de un modo aproximado en la curva de pérdida por difracción en un obstáculo agudo.

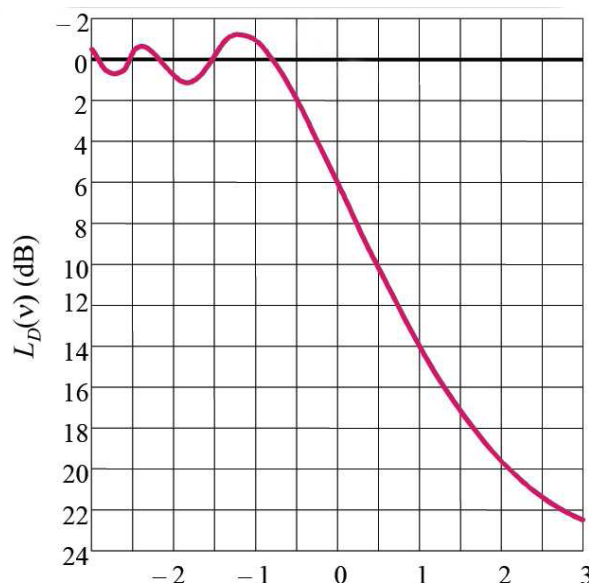


Figura 2.1413. Curva de pérdida por difracción del tipo filo de cuchillo



### 2.1.6.2.2. Obstáculo redondeado

Un obstáculo se considera redondeado si la superficie presenta irregularidades menores:

$$\Delta = 0'04(r\lambda^2)^{1/3}$$

En este caso, los elementos geométricos que intervienen son mayores que en el caso anterior:

1. Longitud del enlace ( $d$ )
2. Distancias entre el Tx y el Rx a sus horizontales respectivos  $d_{ht}$  y  $d_{hr}$ , medidos en Km
3. Alturas de los puntos de horizonte  $z_{ht}$ , y  $z_{hr}$ , en metros
4. Angulo de difracción  $\theta$  en mrad
5. Radio de curvatura del obstáculo,  $r$ , en Km
6. Altura  $h$  del punto P de intersección de las visuales trazadas desde Tx y Rx a sus respectivos horizontes, con respecto a la línea TxRx

Así pues, la atenuación por difracción en un objeto redondeado se define como:

$$A = L_D(v) + T(m, n)$$

Donde  $L_D(v)$  corresponde a la del obstáculo agudo y se define  $T(m, n)$  dependiendo del valor de los factores  $m$  y  $n$ .

$$T(m, n) = 7'3m^{1/2} - (2 - 12'5n)m + 3'6m^{3/2} - 0'8m^2 \quad \text{Si } m \cdot n < 4$$

$$T(m, n) = -6 - 20 \log(m \cdot n) + 7'2m^{1/2} - (2 - 17n)m + 3'6m^{3/2} - 0'8m^2 \\ \text{Si } m \cdot n > 4$$

Definiendo  $m$  y  $n$  como (con  $r$  en Km,  $h$  en metros y  $f$  en MHz):

$$m = 0'45708 \cdot \frac{d_{ht} + d_{hr}}{d_{ht} \cdot d_{hr}} \cdot r^{2/3} \cdot f^{-1/3}$$

$$n = 4'787 \cdot 10^{-3} \cdot h \cdot f^{2/3} \cdot r^{-1/3}$$

Con un esquema, se ve mejor cual es cada parámetro.

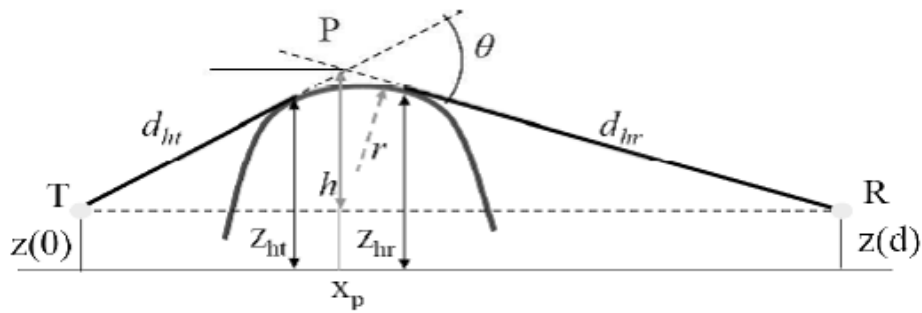


Figura 2.15. Difracción en un objeto redondeado

### 2.1.6.2.3. Dos obstáculos aislados

Ya hemos visto los tipos de difracción que nos podemos encontrar cuando únicamente tenemos un obstáculo, ahora tendremos que estudiar cuando tenemos dos de una forma aislada.

En este apartado tenemos que definir los siguientes parámetros:

$z_1 = z(0)$  como la altura absoluta de la antena transmisora

$z_2 = z(x_0)$  como la altura del obstáculo  $O_1$

$z_3 = z(x_1)$  como la altura del obstáculo  $O_2$

$z_4 = z(d)$  como la altura absoluta de la antena receptora

$x_1$  como la distancia del transmisor al obstáculo  $O_1$

$x_2$  como la distancia del transmisor al obstáculo  $O_2$

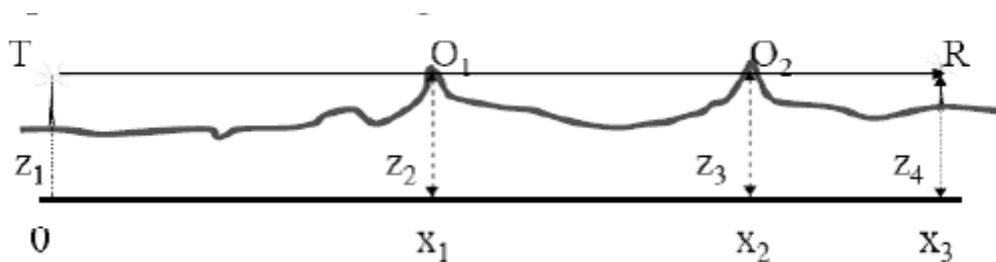


Figura 2.16. Difracción en dos objetos aislados

Si queremos calcular dicha atenuación de manera teórica, se utilizará una integral doble de Fresnel, expresable en forma de desarrollos en serie. En la práctica, se utilizarán aproximaciones, como las tres que describimos a continuación, las cuales son las que proporcionan los resultados más acordes con las mediciones. Cada caso se aplicará en circunstancias diferentes.

1. Método EMP:

Se aplica cuando el rayo TxRx no corta a ningún obstáculo, sino que existe un despejamiento insuficiente en ambos, esto es, para cada obstáculo se cumple que:

$$-0.7 \leq v \leq 0$$

Así pues definimos atenuación como la suma de las pérdidas producidas por cada obstáculo por separado:

$$L_D = L_D(TO_1R) + L_D(TO_2R) = L_D(v_1) + L_D(v_2)$$

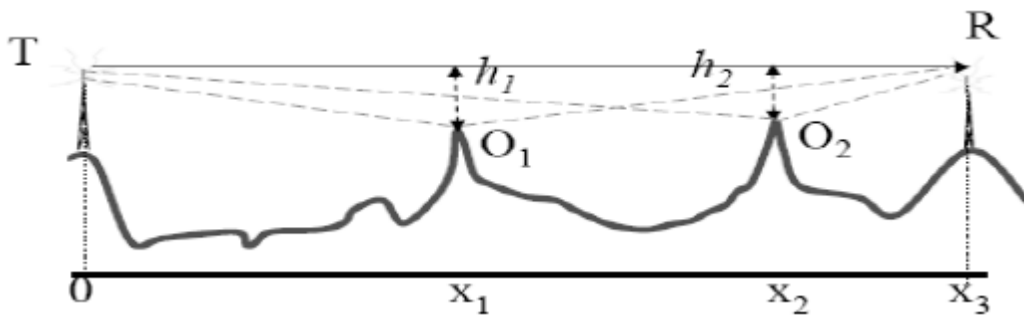


Figura 2.17. Método EMP

2. Método Wilkerson:

Resulta aplicable cuando el rayo corta a un obstáculo y existe despejamiento insuficiente y cuando un obstáculo es claramente dominante sobre otro.

$$L_D = L_D(TO_1O_2) + L_D(TO_2R) = L_D(v'_1) + L_D(v_2)$$

3. Método Epstein-Peterson.

Este método es utilizado cuando el rayo corta a los dos obstáculos, No obstante, si los rayos  $O_1Rx$  o  $TO_2$  no cortan al otro obstáculo, se aplica Wilkerson. Aplicable cuando la pérdida de cada obstáculo son similares.

La atenuación por difracción es igual a la pérdida en el subvano  $TO_1O_2$ , interceptado por  $O_1$  con altura  $h_1$  más pérdida en el subvano  $O_1O_2R$  interceptado por  $O_2$  con altura  $h_2$ , más un término de corrección.

$$L_D = L_D(TO_1O_2) + L_D(O_1O_2R) + L_C = L_D(v'_1) + L_D(v'_2) + L_C$$

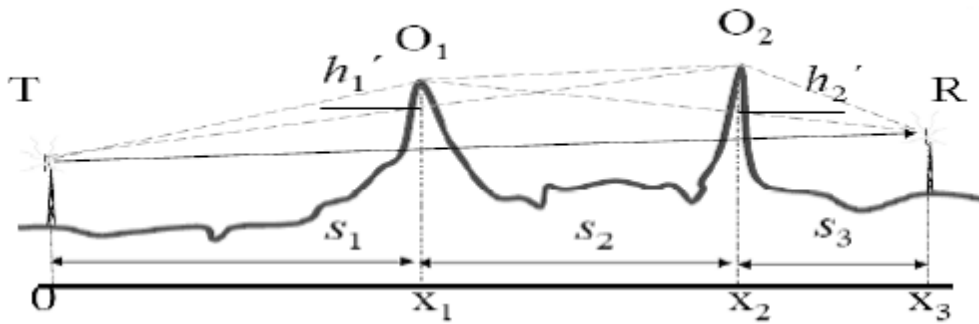


Figura 2.18. Método Epstein-Peterson

Donde dicho término de corrección (Millington), se define como:

$$L_c = 10 \log_{10} \frac{(s_1 + s_2) \cdot (s_2 + s_3)}{s_2 \cdot (s_1 + s_2 + s_3)}$$

#### 2.1.6.2.4. Múltiples obstáculos.

El método que se propone en la ITU-R P.526, es una extensión del Epstein-Peterson. Definimos los elementos a tener en cuenta.

- $h_i$  Altura del obstáculo  $O_i$  respecto de la recta que une  $O_{i-1}$  con  $O_{i+1}$
- $x_i$  Abscisa del obstáculo  $O_i$
- $s_i = x_i - x_{i-1}$  Distancia entre los obstáculos  $O_i$  con  $O_{i-1}$
- $s_1 = x_1$  Distancia del transmisor al primer obstáculo.
- $s_{N+1} = d - x_N$  Distancia del último obstáculo al receptor.

Para el cálculo de la atenuación se determina el llamado “polígono funicular” que es una poligonal cuyos vértices son T, T y los obstáculos dominantes.

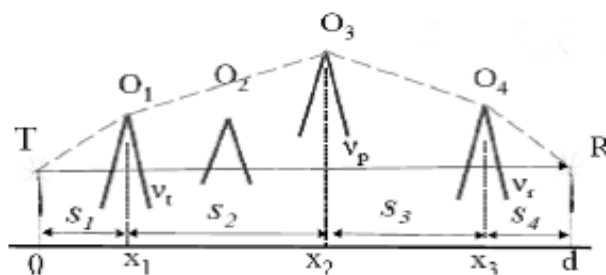


Figura 2.19. Difracción en múltiples obstáculos

Los pasos a seguir son:

1. Determinar el obstáculo dominante o principal: aquél para el que el parámetro  $u$  es el mayor de todos  $u_p$
2. Este obstáculo divide al vano en 2 subvanos
3. En cada subvano se determina el obstáculo dominante:  $u_t$  para el del transmisor y  $u_r$  para el del receptor
4. Evaluar la pérdida en exceso con la expresión

$$L = L_D(v_p) + T[L_D(v'_t) + L_D(v'_r) + C]$$

Donde  $T = 1 - e^{-\frac{L_D(v_p)}{6}}$   
 $C = 10 + 0'04 \cdot d \quad Km$

### 2.1.6.3. Zonas de Fresnel

Vamos a tratar el tema de que las señales lleguen con fases opuestas, lo que en general contribuirá negativamente a la recepción pese a que a recorrer mayor trayecto y llegar atenuada. Las trayectorias de fases opuestas nos definirán las llamadas zonas de Fresnel, las cuales podrán ser destructivas o constructivas.

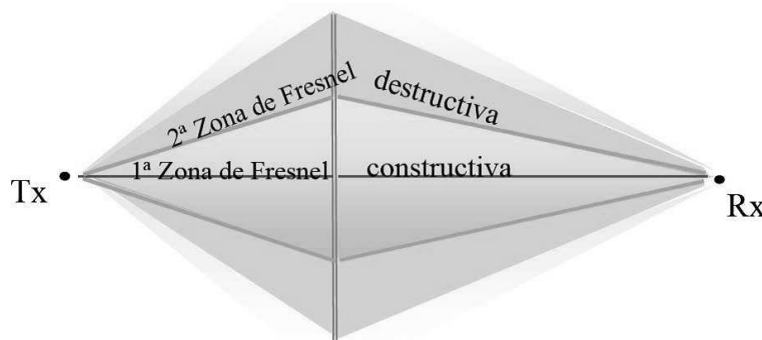


Figura 2.20. Zonas de Fresnel

Definimos zonas de Fresnel como el número de elipsoides concéntricos que definen el volumen del patrón de radiación de apertura circular. Las zonas de Fresnel forman una serie de círculos concéntricos imaginarios entre el transmisor y el receptor y la ubicación depende de la longitud de onda de la señal transmitida.

El establecimiento de las zonas de Fresnel es muy útil para evaluar el comportamiento de las ondas de múltiples trayectorias en un enlace, permitiendo determinar la influencia de los puntos de reflexión en la calidad de la transmisión. Las zonas de Fresnel se enumeran de adentro hacia fuera.

Esto constituye la base para la evaluación antes indicada, ya que, si el punto de reflexión está ubicado dentro de una zona par, tendrá una contribución sustractiva de potencia pues el rayo directo y el reflejado se suman en contrafase, haciendo que se anulen y, las zonas impares, tienen una contribución aditiva reforzando la señal.

Al final, la potencia de recepción será la suma de todas las contribuciones.

Por tanto, una contribución será constructiva o destructiva dependiendo de la fase de la señal recibida. La interferencia constructiva se produce cuando la suma vectorial de las señales, produce un aumento en la amplitud de la señal recibida. De modo análogo, la interferencia destructiva se produce cuando la suma vectorial de las señales, produce una disminución de la señal recibida.

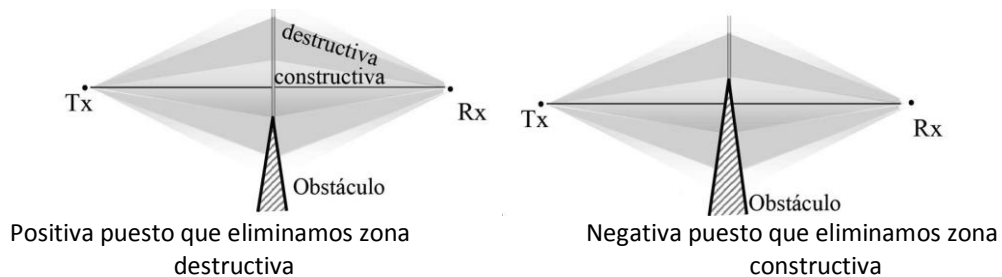


Figura 2.21. Zonas constructivas/destructivas de Fresnel

De éste modo, dos señales se cancelan, cuando la diferencia de su longitud de trayecto está dada por:

$$\Delta d = (n + 0'5)\lambda \quad \text{Para } n = 0, 1, 2 \dots$$

Si la diferencia de longitud de trayecto ( $\Delta d$ ) es constante, la cancelación ocurre cuando la frecuencia es dada por:

$$f = (n + 0'5) \frac{c}{\Delta d} \quad \text{Para } n = 0, 1, 2 \dots$$

Donde  $c$  representa la velocidad de propagación de la señal.

Esto nos servirá para diseñar las antenas y tratar que los puntos de reflexión coincidan con las zonas impares además de para evaluar la comunicación entre dos puntos que no tienen bien definida la línea de vista y se recurre al efecto de la reflexión.

#### 2.1.6.4. Perturbaciones: Desvanecimiento

Se conoce como desvanecimiento a toda disminución de la potencia recibida de señal con relación a su valor nominal.

Uno de los principales inconvenientes de la propagación multitrayecto, es que la antena receptora no capta una sola señal limpia, sino que recibe múltiples réplicas que se combinan en la antena receptora para dar una señal resultante que puede variar ampliamente en amplitud y fase, dependiendo de la distribución de la intensidad y el tiempo de propagación relativa de las ondas y el ancho de banda de la señal transmitida.

Es un fenómeno puramente espacial, que también depende del desplazamiento del móvil (Rx), o del desplazamiento de objetos en el ambiente de propagación, en el caso, en que Tx y Rx sean estáticos.

El desvanecimiento multitrayecto o *multipath*, debido a su intensidad y al hecho de ser selectivo en frecuencia, en muchos casos produce una fuerte atenuación y distorsión en la señal recibida, por lo que ejerce una fuerte influencia sobre la calidad de la señal final.

Ser selectivo en frecuencia, quiere decir que el canal posee una ganancia constante y una respuesta de fase lineal sobre un ancho de banda que es menor que el ancho de banda de la señal transmitida, por tanto el canal crea un desvanecimiento selectivo en frecuencia sobre la señal recibida.

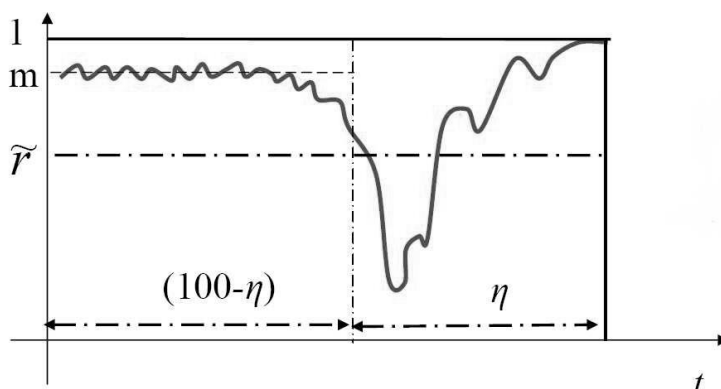
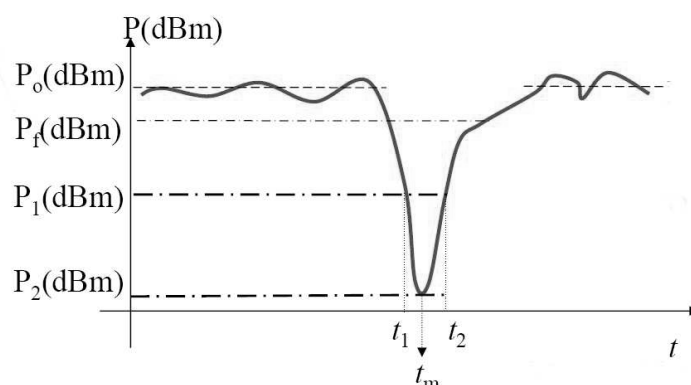


Figura 2.22. Desvanecimiento

Siendo  $\eta$  el factor de actividad multitrayecto, en % y  $1-\eta$  la propagación en condiciones normales.

Es conveniente definir el término profundidad de desvanecimiento, el cual es simplemente la diferencia entre el nivel nominal ( $P_0$ ), es decir el que se transmite en el origen y, el nivel recibido la antena receptora. El tiempo que media entre la disminución y la recuperación de este nivel nominal, se le nombra como duración de desvanecimiento.



**Figura 2.23. Parámetros del desvanecimiento**

Definiendo:

- \$P\_0\$ el valor nominal
- \$t\_2 - t\_1\$ la duración del desvanecimiento.
- \$P\_0 - P\_1\$ (\$t = t\_1\$); \$P\_0 - P\_2\$ (\$t = t\_m\$) distintas profundidades del desvanecimiento

A la hora de su estudio en recintos cerrados, los modelaremos con distribuciones estadísticas y tendremos en cuenta dos aspectos:

- Componente dominante (rayo directo)
- Componentes tienen amplitudes similares (rayos no directos).

A parte, dejamos el estudio de la reflexión especular o difusa en el suelo ya que suele ser previsible y puede contrarrestarse en cierto grado.

Si el trayecto discurre sobre un terreno despejado en el que pueden darse condiciones para la existencia de un rayo reflejado y si la longitud es pequeña, puede llegar a ser dominante el desvanecimiento debido a la reflexión del suelo.

Si existe una componente dominante, posiblemente exista una gran contribución del rayo directo entre Tx y Rx. Dicho estudio, seguirá una distribución estadística del tipo Rice y podemos decir que se produce un desvanecimiento lento, puesto que el radioenlace lo podemos definir como punto-punto y la contribución de la componente multirayecto es muy pequeña.

Dicha función de probabilidad será la siguiente:

$$p(r) = \begin{cases} \frac{r}{\sigma^2} e^{\left(-\frac{(r^2 + A^2)}{2\sigma^2}\right)} I_0\left(\frac{Ar}{\sigma^2}\right), & (0 \leq r \leq \infty) \\ 0, & (r < 0) \end{cases}$$

Donde \$\sigma\$ es el valor cuadrático medio (amplitud) de la señal recibida y \$\sigma\_2\$ es su potencia media y \$A\$ es la amplitud de pico del trayecto dominante e \$I\_0\$ representa



la función de Bessel de primera especie y orden cero. Para el caso particular en que  $A=0$  no tenemos componente determinista y la función es la de Rayleigh, como se ve a continuación.

Por el contrario, si las contribuciones dominantes son las generadas por las componentes multitrayecto, diremos que sigue una distribución Rayleigh, la cual es utilizada para describir la variación estadística de la envolvente de la señal resultante de la propagación *multipath*.

La distribución en este caso será:

$$p(r) = \begin{cases} \frac{r}{\sigma^2} e^{-\frac{r^2}{2\sigma^2}}, & (0 \leq r \leq \infty) \\ 0, & (r < 0) \end{cases}$$

Se puede observar que para el caso particular en que  $A=0$  en la distribución Rice, no tenemos componente determinista y la función es la de Rayleigh, por lo que se puede decir que la distribución Rayleigh es un caso particular de la distribución Rice.

Aquí podemos observar la gráfica de función de probabilidad que siguen ambas distribuciones.

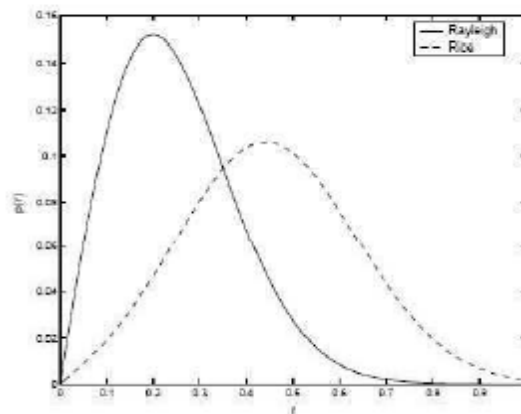


Figura 2.23. Curva distribución Rice/Rayleigh

## 2.2. Modelos de propagación en interiores

En este apartado se van a ver, de forma general, las distintas formas de modelar los procesos que ocurren en la propagación de señales de radiofrecuencia, principalmente, en entornos interiores, ya que estos son el objeto de este estudio.

La señal emitida por una antena experimenta múltiples cambios a lo largo de su camino a través del medio de propagación. Los modelos tratan de predecir el comportamiento que tiene la señal en diferentes condiciones y entornos, aunque es realmente difícil debido a los múltiples obstáculos y materiales que puedan existir en diferentes entornos.

### 2.2.1. Introducción

Un modelo es una representación simplificada de la realidad, por medio de un conjunto de restricciones e hipótesis.

Un modelo científico es la representación, de una forma determinada, de determinados fenómenos naturales. Es una aproximación de los fenómenos que ocurren en la naturaleza y que por ello son prácticamente impredecibles debido a los innumerables factores que les afectan, ya sea en la propagación de señales por radiofrecuencia, como en los movimientos de los objetos celestes. Para facilitar el entendimiento de los modelos, se utilizan dibujos, gráficas, ecuaciones, estructuras en dos o tres dimensiones o explicaciones textuales.

Según la construcción y la precisión del modelo, se pueden clasificar de la siguiente forma:

- Modelos matemáticos
- Modelos empíricos o estadísticos
- Modelos teóricos
- Modelos deterministas
- Modelos estocásticos
- Modelos de caja negra

Para comprobar la validez de un modelo se pueden tener en cuenta los siguientes factores:

- 1) El modelo puede explicar las observaciones realizadas del fenómeno.

- 2) Se puede usar el modelo para predecir el comportamiento del fenómeno modelado.
- 3) El modelo es consistente con otras ideas acerca del funcionamiento del fenómeno modelado.

Hay que tener en cuenta que nunca se puede decir que un modelo sea correcto, se puede decir que un modelo es aceptable basándonos en los tres puntos comentados con anterioridad. También se debe contar con que pueden existir varios modelos que expliquen de manera aceptable el mismo fenómeno, es más, es recomendable que existan varios modelos aceptables.

Los modelos también evolucionan o son sustituidos por otros modelos nuevos más aceptables que son fruto de la observación y la investigación sobre el fenómeno en cuestión que son capaces de explicar más casos de comportamiento, que pueden predecir mejor el fenómeno o que son más consistentes.

### 2.2.2. Modelos de propagación en interiores

Hay que tener en cuenta que los resultados que se obtengan de una predicción de cobertura mediante el uso de un modelo es muy importante para facilitar las siguientes tareas:

- Predecir la superficie que se puede cubrir con un único punto de acceso.
- Planificar la localización de las celdas para que no se interfieran ni se provoquen errores aunque se use la misma frecuencia.

En entornos cerrados, que son los que atañen a este estudio, los niveles de señal varían más que en entornos abiertos, debido a que el campo eléctrico en los primeros se forma por un número de componentes indirectos mucho mayor que en entornos abiertos. Las principales diferencias entre los modelos de propagación en entornos interiores y los exteriores son que las distancias son menores en los primeros y que la componente variable del entorno es mayor para separaciones más pequeñas entre el transmisor y el receptor.

A continuación se van a analizar en detalle los modelos de propagación en entornos interiores, todos ellos empíricos o estadísticos, que se han utilizado en este proyecto.

#### 2.2.2.1. Espacio libre

Este modelo de propagación se utiliza para predecir la potencia de la señal cuando existe una línea de visión directa entre el transmisor y el receptor. Un ejemplo de propagación en el espacio libre son los sistemas de comunicación por satélite.

Este modelo se basa en la ecuación de Friis, con la que se obtiene la potencia recibida, en el espacio libre, en una antena receptora separada de la transmisora una distancia  $d$ . La ecuación es la siguiente:

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

Donde:

$P_r(d)$  = potencia recibida; es función de la separación entre el transmisor y el receptor

$P_t$  = potencia transmitida

$G_r$  = ganancia de la antena receptora

$G_t$  = ganancia de la antena transmisora

$\lambda$  = longitud de onda en metros

$d$  = distancia de separación entre transmisor y receptor en metros

$L$  = pérdidas del sistema no achacables a la propagación

La ganancia de la antena está dada por:

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

La apertura efectiva  $A_e$  se relaciona con el tamaño físico de la antena y con la frecuencia de la portadora mediante:

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

Donde  $f$  es la frecuencia de la portadora en Hz,  $\omega_c$  es la frecuencia de la portadora dada en radianes por segundo y  $c$  es la velocidad de la luz en metros/segundo.

Los valores de  $P_t$  y  $P_r$  deben ser expresados en las mismas unidades, y  $G_t$  y  $G_r$  son cantidades adimensionales. Las pérdidas  $L$  son usualmente debidas a la atenuación de la línea de transmisión, a las pérdidas por filtros, y a las pérdidas de la antena en los sistemas de comunicación. Cuando  $L=1$  significa que no hay pérdidas en el sistema.

Las pérdidas por trayectoria representan la atenuación de la señal como una cantidad positiva medida en dB, y se definen como la diferencia entre la potencia radiada efectiva y la potencia recibida. Puede o no incluir el efecto de ganancia de las antenas; cuando se incluyen en la ecuación es la siguiente:

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

Cuando la ganancia de las antenas es excluida, se asume que tienen ganancia unitaria y la ecuación se convierte en:

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

La ecuación de Friis muestra que la potencia de la señal recibida se atenúa de acuerdo al cuadrado de la distancia entre el transmisor y el receptor, lo que implica que decae 20 dB/década.

Cuando se conoce la potencia recibida en una distancia de referencia  $d_0$ , la ecuación siguiente puede utilizarse para calcular la potencia recibida en una distancia más lejana:

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

La misma ecuación expresada como pérdida de trayecto sería:

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

La ecuación de Friis es sólo válida para predecir  $P_r$  para valores de  $d$  que estén en la región conocida como “far-field” de la antena transmisora se define como la distancia más allá de la distancia  $d_f$ , la cual se relaciona con la dimensión mayor de la apertura numérica de la antena transmisora y con la longitud de onda de la portadora. La distancia de Fraunhofer está dada por:

$$d_f = \frac{2D^2}{\lambda}$$

Donde  $D$  es la dimensión física mayor de la antena. Adicionalmente para estar en la región *far-field* se debe satisfacer  $d_f \gg D$  y  $d_f \gg \lambda$ . Además queda claro que la ecuación no es válida para  $d=0$ .

### 2.2.2.2. Modelo COST 231

El modelo COST 231 es el más sofisticado de los modelos empíricos debido a que además de tener en cuenta las pérdidas por espacio libre a la hora de predecir la potencia en el receptor, tiene en cuenta también todos los muros que interfieren con el rayo directo entre transmisor y receptor, y para cada uno de los muros tiene en cuenta el material del que están hechos. La fórmula que utiliza este modelo para calcular la pérdida de potencia es [8 y 18]:

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

Donde:

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

$L_C$  = constante de pérdida

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

$n$  = número de suelos penetrados

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

$L_f$  = pérdida entre suelos adyacentes

$b$  = parámetro empírico

NOTA:  $L_C$  se fija normalmente en 32,45 dB en condiciones de espacio libre.

La siguiente tabla muestra el factor de pérdida que se añade en función del material o del tipo de muro que se trate (suelos, paredes o techos):

	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

Tabla 2.1. Valores medios de los factores de pérdida según la categoría del muro

### 2.2.2.3. Modelo ITU-R P 1238

Es similar a los dos modelos vistos anteriormente, la diferencia es que sólo tiene en cuenta explícitamente el número de suelos. Las pérdidas que se dan en el mismo piso por atravesar muros, se incluyen en la fórmula con el factor N de las pérdidas de trayecto [9].

$$L_{total} = 20 \log_{10} f + N \log_{10} d + L_f(n) - 28 \text{ dB}$$

### 2.2.2.4. Linear Path Attenuation Model

Andelman propuso este modelo [10] para los casos en los que un transmisor y un receptor se encuentran en la misma planta. El *path loss medido* en dB se obtiene del *path loss* en espacio libre ( $PL_{FS}$ ) más un factor que es lineal del rango que experimentalmente se ha obtenido. La fórmula de este modelo es:

$$L(d) = L_{FS} + a * d \quad (dB)$$

Donde  $a$  es el coeficiente de atenuación lineal y  $d$  es la distancia entre transmisor y receptor. Este modelo sólo toma en consideración la pérdida en espacio libre. Es susceptible de ser específico de un ambiente, debido a que el valor de  $a$  varía de un entorno a otro y debe ser medido con precisión para poder demostrar los beneficios de este modelo [11]. Por ejemplo, en un ambiente de oficinas, el valor del coeficiente  $a$  sería de 0,47 dB/m.

### 2.2.2.5. Dual Slope-Model

Este modelo fue desarrollado por Feuerstein y Beyer. Ellos observaron que el *path loss* se comporta de diferentes maneras a distancias cercanas y a distancias lejanas. Para cuantificar este efecto este modelo trabaja con dos modelos *path loss* uno para distancias cortas y otro para largas. El primero tiene un rango corto y tiene su propio índice de decaimiento. El segundo es función del primero. Para diferenciar la utilización de ambos modelos se introduce la distancia de ruptura  $d_{BR}$ . Las fórmulas utilizadas son las siguientes [3]:

$$PL_{DS1}(d) = 10n_1 \log\left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right) - a_0$$

$$PL_{DS2}(d) = PL_{DS1}(d_{BR}) + 10n_2 \log\left(\frac{d}{d_{BR}}\right)$$

Donde:

$d_{BR}$  = distancia de ruptura

$\lambda$  = longitud de onda

$n_1$  = exponente de *path loss* antes de  $d_{BR}(PL_{DS1})$

$n_2$  = exponente de *path loss* después de  $d_{BR}(PL_{DS2})$

$a_0$  = diferencia entre  $PL_{DS}$  y  $PL_{FS}$  a la distancia de 1 metro

$a_0$  es causado por efectos en las ondas y varía entre 0 y 5 dB. En las regiones cercanas,  $n_1$  se suele establecer a 2; y para las regiones lejanas  $n_2$  se suele poner un valor de 6 ó mayor. Este modelo se puede hacer más específico para un sitio al poder introducir los valores  $n_1$  y  $n_2$ . Además la distancia de ruptura  $d_{BR}$  juega un papel muy importante y debe ser un valor que se conozca lo mejor posible y que debe ser establecido en base a mediciones [11].

### 2.2.2.6. Modelo Keenan-Motley

Motley propuso un modelo basado tanto en la teoría como en las medidas realizadas en la práctica. Este modelo mide el *path loss* mediante la fuerza de la señal recibida y una distancia de referencia. La fórmula utilizada es la siguiente:

$$L_{KM}(d) = L_M + 10n \log(d) + k_F L_{FS} \quad (dB)$$

Donde:

$L_M$  = *path loss* medido a 1 metro

$L_{FS}$  = *path loss* en espacio libre; incluyendo pérdidas por penetración a través de suelos/techos

$k_F$  = número de suelos/techos penetrados

Este modelo depende por igual de la teoría y del *path loss* medido. Este último valor es una buena forma de saber el comportamiento del modelo. Sin embargo, este modelo no puede ser utilizado para predecir el nivel de señal recibido, dado el requerimiento de medidas del *path loss* reales [11].

### 2.2.2.7. Modelo Multi-Wall

Este modelo se caracteriza por un exponente de  $n=2$ , como *path loss* en espacio libre, junto con factores de pérdida relacionados con el número de plantas ( $n_f$ ) y muros ( $n_w$ ) que interceptan la línea en visión directa a la distancia ( $d$ ) entre los terminales. La fórmula que se utiliza en este modelo es la siguiente:

$$L_{MW} = L_1 + 20 \log(d) + n_f a_f + n_w a_w \quad (dB)$$

Donde:

$L_1$  = *path loss* a 1 metro

$a_f$  = factor de atenuación de suelos

$a_w$  = factor de atenuación de muros

$n_f$  = número de suelos atravesados

$n_w$  = número de muros atravesados



## 2.3. LA TECNOLOGÍA RFID

La identificación por radiofrecuencia es una tecnología básicamente, aunque no sólo, de captura e identificación automática de información contenida en etiquetas, también denominados tags o transpondedores. Cuando estos tags entran en el área de cobertura de un lector RFID, éste envía una señal para que la etiqueta le transmita la información almacenada en su memoria. Una de las claves de esta tecnología es que la recuperación de la información contenida en la etiqueta se realiza vía radiofrecuencia y sin necesidad de que exista contacto físico o visual entre el dispositivo lector y las etiquetas, debido a las propiedades de las ondas electromagnéticas vistas con anterioridad, aunque en muchos casos se exige una cierta proximidad de estos elementos.

Desde este punto de vista, está claro que la tecnología RFID ofrece interesantes posibilidades, como sustituto más versátil de otras aplicaciones de identificación automáticas como el código de barras.

Como es evidente, las posibilidades que ofrece RFID superan la mera sustitución, y la hacen un candidato idóneo en muchos otros campos donde se precise una identificación fiable de objetos o personas y una localización de los mismos. Puede proporcionar ventajas estratégicas en muy diversas áreas de negocio, ofreciendo seguimiento preciso en tiempo real de la cadena de suministro de bienes o materias primas, y en general, la posibilidad de monitorización en tiempo real de los activos de una empresa.

### 2.3.1. Un poco de historia

El uso de la RFID se remonta a los años 40 durante la Segunda Guerra Mundial, donde los militares estadounidenses utilizaban esta tecnología para el reconocimiento a distancia de los aviones, friendo or foe (amigo o enemigo).

La primera aplicación no militar de la RFID fue patentada en Estados Unidos por Mario Cardillo en 1969, y se centraba en los ámbitos del transporte, la economía, la medicina y la seguridad.

En los años 80 llega a Europa como herramienta de identificación del ganado en el sector privado, y más adelante, se extendería a las cadenas de fabricación de la industria del automóvil.

Es en los años 90 cuando la tecnología RFID empieza a tomar mayor relevancia debido al descenso de su coste de fabricación ya que IBM consiguió integrar en un solo chip todo el circuito.

En la actualidad su uso está más extendido tanto en ámbitos como en países debido a sus múltiples usos, como en pasaportes electrónicos (e-passport), los

peajes, el transporte público, el seguimiento de productos, el seguimiento de equipaje, la identificación de animales, e incluso el seguimiento de pacientes en un hospital.

### 2.3.2. Descripción de la tecnología

La identificación por Radiofrecuencia (RFID) es un método de almacenamiento y recuperación remota de datos, basado en el empleo de etiquetas o tags en las que reside la información. RFID se basa en un concepto similar al del sistema de código de barras; la principal diferencia entre ambos reside en que el segundo utiliza señales ópticas para transmitir los datos entre la etiqueta y el lector, y RFID, en cambio, emplea señales de radiofrecuencia [2].

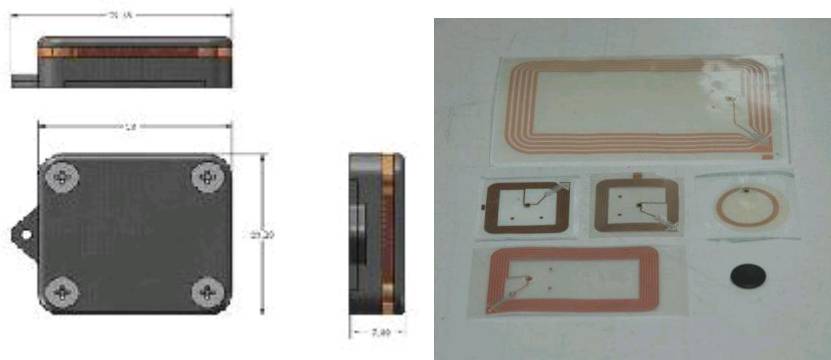
Todo sistema RFID se compone principalmente de cuatro elementos:

- Una etiqueta RFID, también conocida como tag o transpondedor. La etiqueta se inserta o adhiere en un objeto animal o persona, portando información sobre el mismo. Consta de un microchip que almacena los datos y una pequeña antena que habilita la comunicación por radiofrecuencia con el lector.
- Un lector o interrogador, encargado de transmitir la energía suficiente a la etiqueta, si esta es pasiva, y de leer los datos que ésta le envíe. Consta de un módulo de radiofrecuencia (transmisor y receptor), una unidad de control y una antena para interrogar los tags vía radiofrecuencia. Los lectores están equipados con interfaces estándar de comunicación que permiten enviar los datos recibidos de la etiqueta a un subsistema de procesamiento de datos, como puede ser un ordenador personal o una base de datos. Algunos lectores llevan integrado un programador que permite escribir información en las etiquetas.
- Un ordenador, host o controlador, que desarrolla la aplicación RFID. Recibe la información de uno o varios lectores y se la comunica al sistema de información. También es capaz de transmitir órdenes al lector.
- Un middleware y en *backend* un sistema ERP de gestión de sistemas IT, necesarios para recoger, filtrar y manejar los datos.

Todos estos elementos conforman un sistema RFID que, atendiendo a distintos criterios relacionados con las características técnicas y operacionales de cada uno de los componentes, puede ser de diversos tipos. A continuación podemos ver algunas clasificaciones de sistemas RFID dependiendo de las características de sus componentes:

- Según su capacidad de programación:

- De sólo lectura: las etiquetas se programan durante su fabricación y no pueden ser reprogramadas.
- De una escritura y múltiples lecturas: las etiquetas permiten una única reprogramación.
- De lectura/escritura: las etiquetas permiten múltiples reprogramaciones.
- Según el modo de alimentación:
  - Activos: si las etiquetas requieren de una batería para transmitir la información.
  - Pasivos: si las etiquetas no necesitan batería.



**Figura 2.24. Etiquetas RFID activas y pasivas**

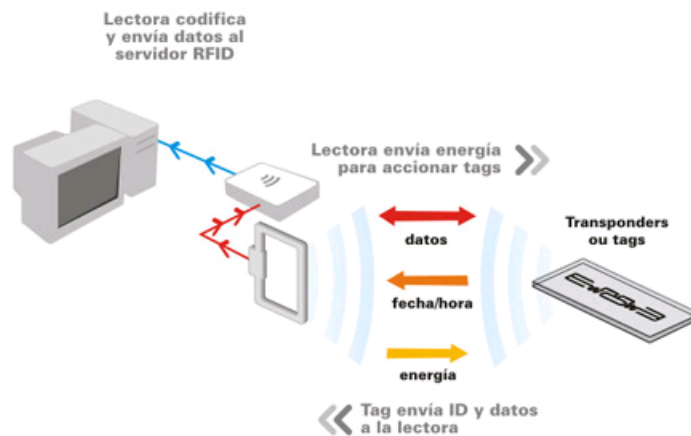
- Según el rango de frecuencia de trabajo:
  - Baja Frecuencia (Low Frequency, LF): se refiere a rangos de frecuencia inferiores a 135 KHz.
  - Alta Frecuencia (High Frequency, HF): cuando la frecuencia de funcionamiento es de 13,56 MHz.
  - Ultra Alta Frecuencia (Ultra High Frequency, UHF): comprende las frecuencias de funcionamiento en las bandas de 433 MHz, 860 MHz y 928 MHz.
  - Frecuencia de Microondas: comprende las frecuencias de funcionamiento en las bandas de 2,45 GHz y 5,8 GHz.
- Según el protocolo de comunicación:

- Dúplex: el transpondedor transmite su información en cuanto recibe la señal del lector y mientras dura ésta. A su vez pueden ser:
  - Half dúplex, cuando transpondedor y lector transmiten en turnos alternativos.
  - Full dúplex, cuando la comunicación es simultánea. En estos casos la transmisión del transpondedor se realiza a una frecuencia distinta que la del lector.
  - Secuencial: el campo del lector se apaga a intervalos regulares, momento que aprovecha el transpondedor para enviar su información. Se utiliza con etiquetas activas, ya que el tag no puede aprovechar toda la potencia que le envía el lector y requiere una batería adicional para transmitir, lo cual supone un incremento en el coste.
- Según el principio de propagación:
  - Inductivos: utilizan el campo magnético creado por la antena del lector para alimentar el tag. Opera en el campo cercano y a frecuencias bajas (LF y HF).
  - Propagación de ondas electromagnéticas: utilizan la propagación de la onda electromagnética para alimentar la etiqueta. Opera en el campo lejano y a muy altas frecuencias (UHF y microondas).

### 2.3.3. Principio de funcionamiento y componentes

Como se ha visto, existe gran diversidad de sistemas RFID, los cuales pueden satisfacer un amplio abanico de aplicaciones para los que pueden ser utilizados. Sin embargo, a pesar de que los aspectos tecnológicos pueden variar, todos se basan en el mismo principio de funcionamiento, que se describe a continuación:

- 1) Equipar a todos los objetos a identificar, controlar o localizar, con una etiqueta RFID.
- 2) El lector emite un campo de radiofrecuencia que activa las etiquetas.
- 3) Cuando una etiqueta entra en dicho campo utiliza la energía y la referencia temporal recibidas para realizar la transmisión de los datos almacenados en su memoria.
- 4) El lector recibe los datos y los envía al sistema de control para su procesamiento.



**Figura 2.25. Esquema de funcionamiento de un sistema RFID**

Como se puede ver en la Figura 2.25, existen dos interfaces de comunicación:

- Interfaz Lector - Sistema de Información: La conexión se realiza a través de un enlace de comunicaciones estándar, que puede ser local o remoto y cableado o inalámbrico.
- Interfaz Lector - Etiqueta: Enlace radio con sus propias características de frecuencia y protocolos de comunicación.

A continuación vamos a ver detenidamente cada uno de los cuatro elementos básicos de los que se compone todo sistema RFID.

### 2.3.3.1. Transpondedores

El transpondedor es el dispositivo que se adhiere a una etiqueta y contiene la información asociada al objeto a seguir, transmitiéndola cuando el lector la solicita. Está compuesto generalmente por un microchip y una antena. Adicionalmente puede incorporar una batería para alimentar sus transmisiones.

Vamos a ver en qué consisten cada uno de los elementos principales antes referidos que forman el transpondedor.

- El microchip está formado por:
  - Circuitería analógica que se encarga de realizar la transferencia de datos y de proporcionar alimentación.
  - Circuitería digital que incluye:
    - 1) La lógica de control.
    - 2) La lógica de seguridad.

- 3) La lógica interna o microprocesador.
  - Memoria para almacenar los datos que suele contener:
    - 1) Una memoria de sólo lectura (ROM), para alojar los datos de seguridad y las instrucciones de funcionamiento del sistema.
    - 2) Una memoria de acceso aleatorio (RAM), para facilitar el almacenamiento temporal de datos durante el proceso de lectura (interrogación y respuesta).
    - 3) Una memoria de programación no volátil, para asegurar que los datos están almacenados aunque el dispositivo esté inactivo. Suele tratarse de una ROM programable y borrable eléctricamente (EEPROM). Este tipo de memorias permite almacenar desde 16 bytes hasta 1 MB, posee un consumo elevado, un tiempo de vida limitado y un tiempo de escritura de entre 5 y 10 ms. Como alternativa puede usarse una RAM ferromagnética (FRAM) con un consumo 100 veces menor que una EEPROM, un tiempo de escritura también menor, de aproximadamente 0,1  $\mu$ s, lo que supone que puede trabajar prácticamente en tiempo real. Otra alternativa usada en sistemas de microondas es utilizar una RAM estática (SRAM), con una capacidad habitual entre 256 bytes y 64 KB y con tiempo de escritura bajo, pero en contrapartida necesita una batería adicional para mantener la información.
    - 4) Buffers con una doble función, soportan de forma temporal los datos entrantes después de la demodulación y los datos salientes antes de la modulación, y actúan de interfaz con la antena.

La información de la etiqueta se transmite modulada en amplitud (ASK), frecuencia (FSK) o fase (PSK), pero típicamente la más utilizada es la primera de esta lista debido a su mayor sencillez a la hora de realizar la demodulación.

La frecuencia utilizada por el transpondedor, en la mayoría de los casos, coincide con la emitida por el lector. Sin embargo, a veces se utiliza una frecuencia subarmónica o incluso una frecuencia totalmente diferente a la del lector (no armónica).

- La antena que incorporan las etiquetas para poder transmitir los datos almacenados en el microchip puede ser de dos tipos:
  - Un elemento inductivo (bobina).

- Un dipolo.

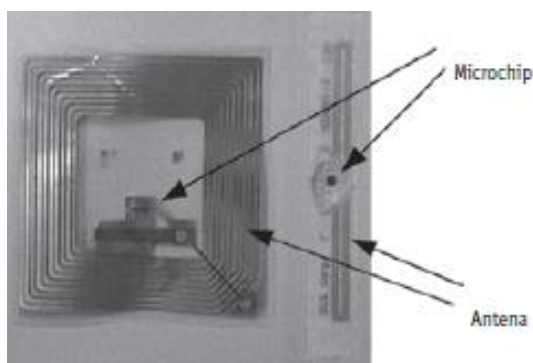


Figura 2.26. Tags RFID, a la izquierda con antena inductiva y a la derecha con antena dipolar

Existen dos mecanismos que posibilitan la transferencia de potencia de la antena del lector a la antena de la etiqueta, para que ésta transmita su información: acoplamiento inductivo y propagación por ondas electromagnéticas. Estos dos tipos de acoplamiento dependen de si trabaja en campo cercano o en campo lejano. En la tabla 2.2 se resumen las principales características de ambos modos.

Propagación/acoplamiento inductivo	Propagación por ondas electromagnéticas
Trabaja en el campo cercano: cobertura baja	Trabaja en el campo lejano: cobertura mayor
Hay que considerar la orientación de la antena	La orientación de la antena es indiferente
Suele trabajar a bajas frecuencias	Suele trabajar a altas frecuencias
Suele utilizar etiquetas pasivas	Suele utilizar etiquetas activas
Es muy sensible a las interferencias electromagnéticas	Necesita regulación

Tabla 2.2. Principales características de los modos de propagación

Los parámetros que caracterizan las etiquetas RFID y comprenden las bases para diseñar sus especificaciones son: el modo de alimentación, la capacidad y tipo de datos almacenados, la velocidad de lectura de datos, las opciones de programación, la forma física y los costes.

- **Modo de alimentación**

Es necesario que las etiquetas dispongan de un tipo de alimentación, a pesar de que los niveles requeridos para que el transpondedor envíe la información son muy pequeños, del orden de micro a miliwatios. Dependiendo del modo en el que obtengan la potencia requerida para su funcionamiento las etiquetas se clasifican en:

- Etiquetas activas: Se alimentan de una batería, además de recoger energía del lector. Generalmente incorporan una pila que posee una alta relación potencia-peso y son capaces de funcionar en un intervalo de temperaturas que va desde -50°C hasta 70°C.

Aunque el empleo de baterías implica un tiempo de vida finito para el dispositivo, la colocación de una pila acoplada de forma apropiada a la circuitería de baja potencia, puede asegurar un tiempo de vida de algo más de 10 años, dependiendo también de las condiciones de trabajo en las que se encuentre, es decir, las temperaturas, ciclos de lectura/escritura y su utilización.

Típicamente son dispositivos de lectura/escritura. Además, una ventaja adicional que presentan frente a las etiquetas pasivas es que pueden usarse para gestionar otros dispositivos, como pueden ser los sensores.

Generalmente las etiquetas RFID activas permiten un radio de cobertura mayor, mejor inmunidad al ruido y tasas de transmisión más altas cuando se trabaja a alta frecuencia. Estas ventajas suponen un coste mayor, por lo que se aplican cuando los bienes a identificar lo justifican.

Existen dos tipos de etiquetas activas:

- 1) Etiquetas que normalmente se encuentran desactivadas (modo reposo) y se activan únicamente cuando el lector las interroga, ahorrando así batería.
  - 2) Etiquetas que periódicamente envían señales, aunque un lector no las interroge. Operan a frecuencias más bajas y a menores tasas de transferencias, para ahorrar batería.
- Etiquetas pasivas: Funcionan sin una batería interna y obtienen la potencia que necesitan para funcionar del campo generado por el interrogador.

La ausencia de batería provoca que los transpondedores pasivos sean mucho más ligeros, pequeños flexibles y baratos que los activos, por lo que pueden ser diseñados en una amplia variedad de formas. Debido a la ausencia de batería, su tiempo de vida es prácticamente ilimitado, pero, como contrapartida, poseen radios de cobertura menores y requieren más cantidad de energía procedente del interrogador para poder transmitir los datos. También poseen restricciones a la hora de almacenar los datos y no funcionan demasiado bien en ambientes con interferencias



electromagnéticas. Asimismo, su sensibilidad y orientación están limitadas por la potencia disponible.

Existe un tipo especial de etiqueta pasiva que incorpora una batería, utilizada únicamente para alimentar la circuitería interna del microchip, nunca se utiliza esa energía para transmitir.

Podemos ver los pros y los contras de la una frente a la otra de forma más clara en la siguiente tabla:

	Etiquetas Activas	Etiquetas Pasivas
Incorporan batería	Sí	No
Coste	Mayor	Menor
Tiempo de vida	Limitado	Casi ilimitado
Cobertura	Mayor	Menor
Capacidad datos	Mayor	Menor

Tabla 2.3. Características de las etiquetas activas frente a las de las etiquetas pasivas

#### · Tipo y capacidad de los datos almacenados

Los datos almacenados en las etiquetas requieren algún tipo de organización como por ejemplo, identificadores para los datos o bits de detección de errores (bits de paridad, bits de redundancia cíclica), con el fin de satisfacer las necesidades de recuperación de datos, proceso que se conoce como codificación de fuente.

La cantidad de datos que se desea almacenar, evidentemente, dependerá del tipo de aplicación que se desee desarrollar. Las etiquetas pueden usarse con el fin de transportar:

- Un identificador: El tag almacena una cadena numérica o alfanumérica que puede representar:
  - 1) Una identidad: Tanto para identificar un artículo de fabricación o un producto en tránsito, como para identificar a un objeto, un animal o un individuo.
  - 2) Una clave de acceso a otra información que se encuentra almacenada en un ordenador o sistema de información.
- Ficheros de datos portables: Se denominan PDF (Portable Data Files) y permiten el almacenamiento de información organizada, sin el problema de que adicionalmente exista un enlace a información adicional contenida en otro sitio. El objeto del PDF puede ser o bien transmitir la información, o bien iniciar las acciones.

En términos de capacidades de datos son habituales los tags que permiten almacenar desde un único bit hasta centenares de kilobits, aunque ya existen prototipos del orden de megabits. Considerando que 8 bits representan un carácter, una capacidad de 1 kilobit permite almacenar 128 caracteres.

Los dispositivos de un único bit poseen dos estados, que son:

- 1) La etiqueta está en la zona de un lector
- 2) La etiqueta no está en la zona de un lector.

Algunos permiten la opción de desactivar y activar el dispositivo. Estos transpondedores no necesitan un microchip, y por lo tanto resultan más baratos de fabricar.

Suelen utilizarse en aplicaciones antirrobo, en particular en aplicaciones llamadas vigilancia electrónica del producto (Electronic Article Surveillance, EAS). El bit permite disparar una alarma cuando la etiqueta atraviesa el campo de acción del interrogador. Otra aplicación de este tipo de etiquetas es el recuento de objetos o individuos.

Los dispositivos que permiten almacenar hasta 128 bits suelen portar un número de serie junto con bits de paridad. Estos dispositivos pueden ser programados por el usuario.

Las etiquetas con capacidad para almacenar hasta 512 bits son siempre programables por el usuario e ideales para portar identificadores y otros datos específicos, como números de serie, contenido de paquetes, instrucciones de los procesos a realizar o posiblemente resultados de anteriores comunicaciones entre el interrogador y el transpondedor.

Los tags que permiten albergar 64 kilobits o más son portadoras de ficheros de datos. Incrementando la capacidad, el servicio también puede permitir la organización de los datos en campos o páginas que pueden ser selectivamente interrogadas durante el proceso de lectura.

#### • **Velocidad de lectura de datos**

La velocidad de lectura de los datos depende principalmente de la frecuencia portadora. En términos generales, cuanto más alta sea dicha frecuencia, más alta será la velocidad de transferencia.

Un aspecto reseñable, es la velocidad con que las etiquetas se mueven dentro de la zona de lectura. El tiempo que tarda una etiqueta en atravesar una zona de lectura debe ser superior al tiempo de lectura de la

propia etiqueta, o no dará tiempo al lector para que pueda realizar adecuadamente la lectura. Este problema puede agravarse si son varias las etiquetas que el interrogador debe detectar, ya que cuando varios tags intentan transmitir sus datos a un mismo lector, el tiempo de lectura se multiplica por el número de tags.

Para etiquetas que poseen una alta capacidad de almacenamiento de datos, cuando se trata de leer toda la información almacenada en la etiqueta los tiempos de lectura serán en consecuencia elevados. En este sentido, la opción que poseen algunas etiquetas para realizar lecturas selectivas, por bloques o por sectores, puede ser muy beneficiosa para reducir considerablemente el tiempo de lectura.

#### · **Opciones de programación**

Dependiendo del tipo de memoria que incorpore el transpondedor, los datos transportados pueden ser:

- De sólo lectura: Son dispositivos de baja capacidad, programados por el fabricante desde el primer momento. Habitualmente portan un número de identificación o una clave a una base de datos donde existe información dinámica relativa al objeto, animal o persona a la que van adheridos.
- De una escritura y múltiples lecturas: Son dispositivos programables por el usuario, pero una única vez.
- De lectura y escritura: También son programables por el usuario pero adicionalmente permiten modificar los datos almacenados en la etiqueta. Los programadores permiten la escritura directamente sobre la etiqueta adherida al objeto en cuestión, siempre y cuando se encuentre dentro del área de cobertura del programador.

EPCGlobal es la organización de empresas orientada específicamente a desarrollar estándares globales para un Código Electrónico del Producto (Electronic Product Code, EPC), tiene el objetivo de normalizar la información contenida en las etiquetas RFID. En la tabla 2.4 se resumen los diferentes protocolos que especifica EPC junto con el tipo de etiquetas y rango de frecuencias que lleva asociadas.

Protocolo	Frecuencia	Tipo de etiqueta
Clase 0	UHF	Sólo lectura
Clase 0Plus	UHF	Lectura y escritura
Clase 1	HF/UHF	Una escritura y múltiples lecturas
Clase 1 Gen2	UHF	Una escritura y múltiples lecturas
Clase 2	UHF	Lectura y escritura
Clase 3	UHF	Clase 2 más batería y sensores
Clase 4	UHF	Etiquetas activas
Clase 5	UHF	Clase 4 + capacidad de lectura

Tabla 2.4. Protocolos EPCGlobal para RFID

Estas especificaciones se refieren al nivel físico (interfaz radio que permita leer la información en cualquier lugar del mundo) y de codificación (Código Electrónico del Producto unívoco).

### Forma física

Las etiquetas RFID pueden tener muy diversas formas, tamaños y carcasas protectoras, dependiendo de la utilidad para la que son creados. El proceso básico de ensamblado consiste en la colocación, sobre un material que actúa como base (papel, PVC), de una antena hecha con materiales conductivos como la plata, el aluminio o el cobre. Posteriormente se conecta el microchip a la antena y opcionalmente se protege el conjunto con un material que le permita resistir condiciones físicas adversas. Este material puede ser PVC, resina o papel adhesivo.

Una vez construida la etiqueta, su encapsulación puede variar de modo que faciliten su inserción o acoplamiento a cualquier material.

Con respecto al tamaño, es posible desarrollar etiquetas del orden de milímetros hasta unos pocos centímetros. Por ejemplo los tags empleados que se insertan bajo la piel del ganado para su identificación miden entre 11 y 34 mm, mientras que aquellos que se encapsulan en discos o monedas, miden entre 3 y 5 cm. Las etiquetas inteligentes RFID tienen las medidas estandarizadas de 85,72 mm x 54,03 mm x 0,76 mm ± tolerancias.

Algunas de las formas en las que podemos encontrar un transpondedor pueden agruparse en:

- Los transpondedores pueden ir encapsulados en ampollas, monedas, pilas, llaves, relojes, varillas, cápsulas, discos, botones,... En la Figura 2.27 puede verse la amplia variedad de formas que existen.

**P-LABEL TAG**



Etiquetas adhesivas de papel

**F-LABEL TAG**



Etiquetas adhesivas de papel

**INLET TAG**



Etiquetas adhesivas sin sustrato

**ISO CARD**



Tarjetas identificativos de PVC

**K-TAG**



Llavero para identificación en accesos

**ACTIVE CARD TAG**



Tarjeta identificativa de muy largo alcance

**B-TAG, CD-TAG**



Tag adhesivo circular

**D-TAG**



Disco para identificación

**TEX TAG**



Etiquetas plásticas de alta resistividad para textil

**ACTIVE COMPACT TAG**



Tag de largo alcance para objetos

**ACTIVE W-TAG**



Pulsera identificativa de muy largo alcance

**PHONE TAG**



Tag especial y personalizable para teléfonos móviles

**THERMRF TAGS**



Etiquetas con sensor de temperatura integrado

**HAM TAG**



Tag atóxico y reutilizable para carne o jamón

**MICRO TAG**



Tag de vidrio para su inserción en personas o animales

**LENS TAG**



Pequeño tag con forma y tamaño de lente

**PLASTIC SCREW TAG**



Tornillo de plástico

**INMOULD TAG**



Tag para inyección en plástico

**METAL TAG**

**TIE TAG**

**W-TAG**



Figura 2.27. Diferentes formatos de etiquetas RFID

- Etiquetas inteligentes: pueden ser tarjetas o tickets, que tienen el mismo formato que las habituales tarjetas de crédito, a las que se le incorpora un tag RFID impreso. Esto permite la utilización de la tarjeta tradicional sin necesidad de contacto físico con un lector (como la nueva tarjeta transporte que se ha instalado en el servicio de villavesas de Pamplona).



Figura 2.28. Tarjeta transporte que se utiliza en el servicio público de transportes de Pamplona que emplea la tecnología RFID

### Costes

Las principales variables que influyen en el coste de las etiquetas son del tipo y cantidad que se adquieran. Respecto a la cantidad, cuantas más etiquetas se compran, menor es su precio.

En relación al tipo de etiquetas, se pueden considerar los siguientes factores:

- La complejidad de la lógica del circuito, de la construcción de la etiqueta o de su capacidad de memoria, influirá en el coste tanto de los transpondedores como de los lectores y programadores.

- La forma de la etiqueta, es decir, el modo en que el dispositivo es encapsulado para formar la etiqueta. Algunas aplicaciones pueden requerir carcasas robustas, mecánica o químicamente, o de alta tolerancia a las variaciones de la temperatura, debido a las condiciones de trabajo a las que deben funcionar. El encapsulado en dichas circunstancias puede representar una proporción significativa del coste total del transpondedor.
- La frecuencia de trabajo de la etiqueta, ya que, en general, los transpondedores de baja frecuencia son más baratos que los de alta frecuencia.
- El tipo de etiqueta: posibilidades de lectura/escritura, activas o pasivas. Los tags pasivos, lógicamente, son más baratos que los activos debido a la ausencia de batería.

Para grandes cantidades de etiquetas, el precio puede variar entre unos pocos céntimos, para etiquetas muy simples, hasta decenas de euros para tags más sofisticados.

### 2.3.3.2. Lectores

Un lector o interrogador es un dispositivo que proporciona energía a las etiquetas, lee los datos que le llegan de vuelta y los envía al sistema de información. Asimismo, también gestiona la secuencia de comunicaciones con el lector.

Para cumplir estas funciones, está equipado con un módulo de radiofrecuencia (transmisor y receptor), una unidad de control y una antena. Además, el lector incorpora un interfaz a un PC, host o controlador, a través de un enlace local o remoto: RS232, RS485, Ethernet, WLAN (RF, WiFi, Bluetooth, etc.), que permite enviar los datos del transpondedor al sistema de información.

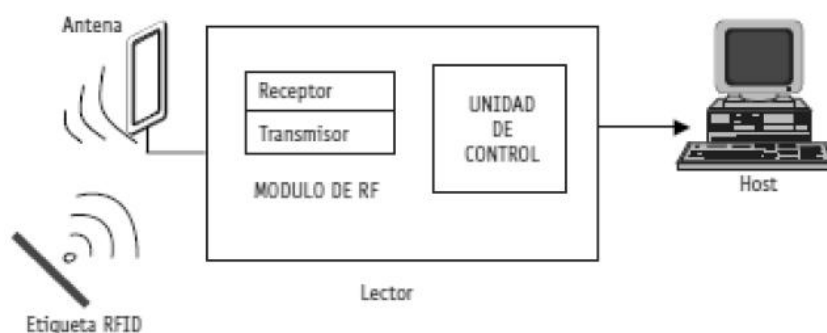


Figura 2.29. Esquema de un lector RFID

El lector puede actuar de tres modos:

- Interrogando su zona de cobertura continuamente, si se espera la presencia de múltiples etiquetas pasando de forma continua.
- Interrogando periódicamente, para detectar nuevas presencias de etiquetas.
- Interrogando de forma puntual, por ejemplo cuando un sensor detecte la presencia de una nueva etiqueta.

Los componentes del lector son, como puede verse en la Figura 2.29, el módulo de radiofrecuencia (formado por receptor y transmisor), la unidad de control y la antena. A continuación puede verse una descripción detallada de cada uno de estos elementos.

- El módulo de radiofrecuencia, que consta básicamente de un transmisor que genera la señal de radiofrecuencia y un receptor que recibe, también vía radiofrecuencia, los datos enviados por las etiquetas. Sus funciones por tanto son:
  - Generar la señal de radiofrecuencia para activar el transpondedor y proporcionarle energía en el caso de que sea pasivo.
  - Modular la transmisión de la señal para enviar los datos al transpondedor.
  - Recibir y demodular las señales enviadas por el transpondedor.
- La unidad de control, está constituida básicamente por un microprocesador. En ocasiones, para aliviar al microprocesador de determinados cálculos, la unidad de control incorpora un circuito integrado ASIC (Application Specific Integrated Circuit), adaptado a los requerimientos deseados para la aplicación. La unidad de control se encarga de realizar las siguientes funciones:
  - Codificar y decodificar los datos procedentes de los transpondedores.
  - Verificar la integridad de los datos y almacenarlos.
  - Gestionar el acceso al medio: activar las etiquetas, inicializar la sesión, autenticar y autorizar la transmisión, detectar y corregir errores, gestionar el proceso de multilectura (anticolisión), cifrar y descifrar los datos, etc.
  - Comunicarse con el sistema de información, ejecutando las órdenes recibidas y transmitiéndole la información obtenida de las etiquetas.



Una de las funciones más críticas que debe realizar la unidad de control es gestionar el acceso al medio. Cuando se transmite información mediante una tecnología que no requiere contacto físico, existe la posibilidad de que aparezcan interferencias que provoquen cambios indeseados a los datos transmitidos y, en consecuencia, errores durante la transmisión. Para evitar este problema se utilizan procedimientos de comprobación (checksum). Los más comunes son la comprobación de bits de paridad, comprobación de redundancia longitudinal (Longitudinal Redundancy Check, LRC) y comprobación de redundancia cíclica (Cyclic Redundancy Check, CRC).

El número de etiquetas que un lector puede identificar en un instante de tiempo depende de la frecuencia de trabajo y del protocolo utilizado. Por ejemplo, en la banda de Alta Frecuencia suele ser de 50 tags por segundo, mientras que en la banda de Ultra Alta Frecuencia puede alcanzar los 200 tags por segundo.

- La antena del lector es el elemento que habilita la comunicación entre el lector y el transpondedor. Las antenas están disponibles en una gran variedad de formas y tamaños. Su diseño puede llegar a ser crítico, dependiendo del tipo de aplicación para la que se desarrolle. Este diseño puede variar desde pequeños dispositivos de mano hasta grandes antenas independientes. Por ejemplo, las antenas pueden montarse en el marco de puertas de acceso para controlar el personal que pasa, o sobre una cabina de peaje para monitorizar el tráfico que circula. La mayor parte de las antenas se engloban en alguna de las siguientes categorías:
  - Antenas de puerta (uso ortogonal).
  - Antenas polarizadas circularmente.
  - Antenas polarizadas linealmente.
  - Antenas omnidireccionales.
  - Antenas de varilla.
  - Dipolos o multipolos.
  - Antenas adaptativas o de arrays.



**Figura 2.30. Antenas de baja frecuencia**

El elemento más característico de la antena del lector es la frecuencia de operación a la que trabaja el sistema. Sin embargo, existen otra serie de parámetros físicos que es necesario considerar: impedancia, máxima potencia permitida, ganancia, patrón de polarización. Estos son los elementos clave que crean el campo de radiofrecuencia, pero a su vez están influenciados por otros parámetros, como la eficiencia de la antena o el tipo de acoplamiento con la antena de la etiqueta. Generalmente, las posibilidades que brinda el tipo de antena, su conexión al lector y su ubicación son infinitas. Cabe destacar, que algunos lectores, incorporan la antena integrada en el lector, lo que reduce enormemente esta flexibilidad.

El principal aspecto a considerar a la hora de elegir una antena es el área de cobertura requerida para la aplicación, de modo que sea lo suficientemente grande para detectar las etiquetas, pero lo suficientemente pequeño para evitar lecturas no válidas que puedan afectar y confundir al sistema.

Otro aspecto que puede afectar a la cobertura es la orientación de la antena del lector con respecto a la etiqueta, que influye sobre la cantidad de potencia transferida al tag, afectando en ocasiones de forma significativa a la lectura.

A pesar de que las etiquetas pueden leerse en todas las orientaciones, en general el campo generado por la antena del lector tiene una dirección determinada. Este hecho influye especialmente en AF y UHF, pudiendo reducirse la cobertura al 50% o incluso imposibilitando la lectura de la etiqueta. Por ello, resulta conveniente buscar el acoplamiento óptimo entre ambas antenas, y si la orientación de la etiqueta no puede

controlarse se debe buscar una compensación mediante un adecuado diseño de la antena.

Todos estos aspectos hay que tenerlos en cuenta antes de adquirir el lector, ya que en general todas las antenas RFID se presentan como productos finales, por lo que es necesario analizar previamente sus características. Sin embargo, la mayoría son sintonizables de modo que puedan ajustarse a la frecuencia de operación seleccionada para el sistema. Esto las hace susceptibles a multitud de factores externos, como son:

- Variaciones RF.
- Pérdidas por proximidad de metales.
- Variaciones del entorno.
- Efectos armónicos.
- Interferencias con otras fuentes de RF.
- Reflexiones de la señal.
- Diafonía (cross-talk).

El problema de resintonización de la antena, como consecuencia del efecto de estos factores, puede corregirse mediante la introducción de circuitos dinámicos autosintonizadores, que realimentan continuamente la antena para que ésta esté siempre bien sintonizada.

Una vez que una etiqueta es detectada y seleccionada, el lector puede realizar operaciones sobre ella, es decir, leer su información o escribir en ella. Después de finalizar la operación, el lector descarta la etiqueta para proceder a interrogar a la siguiente. Existen algoritmos como el “Protocolo Orden-Respuesta”, en el que el lector ordena a un transpondedor que cese su transmisión, cuando reconoce que ya ha recibido la información. Otro método alternativo, más seguro pero más lento y costoso, se denomina “Sondeo Selectivo”, donde el lector busca específicamente las etiquetas que tienen una determinada identificación y las interroga por turnos. Por último, otra aproximación, aunque más cara, incluye el empleo de varios lectores multiplexados en un único interrogador.

Los lectores pueden variar considerablemente su complejidad dependiendo del tipo de transpondedor que tenga que alimentar y de las funciones que deban desarrollar. Una posible clasificación los divide en fijos o móviles dependiendo de la aplicación que se considere.

- Los dispositivos fijos se posicionan en lugares estratégicos como puertas de acceso, lugares de paso o puntos críticos dentro de una cadena de ensamblaje, de modo que puedan monitorizar las etiquetas de la aplicación en cuestión.



**Figura 2.31. Lector RFID fijo**

- Los lectores móviles suelen ser dispositivos de mano. Incorporan una pantalla LCD, un teclado para introducir datos y una antena integrada dentro de una unidad portátil. Por esta razón, su radio de cobertura suele ser menor.



**Figura 2.32. Lector RFID móvil**

Los principales parámetros que caracterizan un lector RFID son:

- Frecuencia de operación: el lector puede funcionar a baja frecuencia, alta frecuencia, ultra alta frecuencia y frecuencia de microondas. Ya existen en el mercado lectores multifrecuencia.
- Protocolo de funcionamiento: Muchas compañías ofrecen soporte multiprotocolo, pero no admiten todos los protocolos existentes.
- Tipo de regulación que siguen: Por ejemplo, existen distintas regulaciones de frecuencia y de potencia en Estados Unidos y en Europa:

- La banda de UHF funciona a 902-930 MHz en Estados Unidos y a 868 MHz en Europa.
- La máxima potencia permitida es de 2 W en Estados Unidos y 0,5 W en Europa.
- Interfaz con el sistema host:
  - TCP/IP.
  - WLAN.
  - Ethernet (10BaseT).
  - Serie: RS 232, RS 485.
- Capacidad para multiplexar muchos lectores:
  - A través de concentradores.
  - A través de middleware.
- Capacidad para actualizar el software del lector on-line:
  - Vía Internet.
  - Vía interfaz con el host.
- Capacidad para gestionar múltiples antenas, típicamente 4 antenas/lector.
- Capacidad para interactuar con otros productos de middleware.
- Entrada/salida digital para conectar otros dispositivos tales como sensores externos o circuitos de control adicionales.

### **2.3.3.3. Programadores**

Los programadores son los dispositivos que permiten escribir información sobre la etiqueta RFID. La programación se realiza una vez sobre las etiquetas de sólo lectura o varias veces si las etiquetas son de lectura/escritura. Es un proceso que generalmente se suele llevar a cabo “fuera de línea”, es decir, antes de que el producto entre en las distintas fases de fabricación.

El radio de cobertura al que un programador puede operar, es generalmente menor que el rango propio de un lector, ya que la potencia necesaria para escribir es mayor. En ocasiones puede ser necesario distancias próximas al contacto directo.

Por otro lado, el diseño de los programadores permite una única escritura cada vez. Esto puede resultar laborioso cuando se quiere escribir la misma información en múltiples etiquetas. Sin embargo, nuevos desarrollos de programadores vienen a satisfacer la necesidad de realizar la programación de múltiples etiquetas.

Existen sistemas en los que la reprogramación puede desarrollarse “en línea”, es decir, permaneciendo la etiqueta sobre el artículo cuya información o identificación porta. Esto resulta especialmente útil si se trata de un fichero de datos interactivo, que va cambiando dentro de un proceso de producción. De este modo, los datos pueden irse modificando según el artículo vaya pasando por distintas etapas de producción. El hecho de quitar la etiqueta del artículo para poder escribir la nueva información reduciría en gran medida las ventajas de flexibilidad inherentes a la tecnología RFID.

La combinación de las funciones de un lector/interrogador con las de un programador permite recuperar y modificar los datos que porta el transpondedor en cualquier momento, sin comprometer la línea de producción.

Un tipo especial de programador es la impresora RFID. Existen impresoras con capacidad de lectura/escritura, que permiten programar las etiquetas a la vez que se imprime con tinta de información visible. Antes de realizar la escritura de la etiqueta, deben introducirse los datos deseados en la impresora. Una vez escritos, un lector a la salida comprueba la fiabilidad de los datos. Lógicamente este tipo de programación debe realizarse sobre etiquetas especiales hechas de materiales flexibles y que permiten la impresión en su exterior.



Figura 2.33. Impresora RFID PM4i de Intermec

#### 2.3.3.4. Middleware

El middleware es el software que se ocupa de la conexión entre el hardware de RFID y los sistemas de información existentes en la aplicación. Del mismo modo que un PC, los sistemas RFID hardware serían inútiles sin un software que los permita funcionar. Esto es precisamente el middleware. Se ocupa del encaminamiento de los datos entre los lectores, las etiquetas y los sistemas de

información, y es el responsable de la calidad y hace posible el uso de las aplicaciones basadas en RFID.

El middleware de RFID se ocupa por tanto de la transmisión de los datos entre los extremos de la transacción. Por ejemplo, en un sistema RFID basado en etiquetas, en el proceso de lectura se ocuparía de la transmisión de los datos almacenados en una de las etiquetas al sistema de información. Las cuatro funciones principales del middleware de RFID son:

- Adquisición de datos: El middleware es responsable de la extracción, agrupación y filtrado de los datos procedentes de múltiples lectores RFID en un sistema complejo. Sin la existencia del middleware, los sistemas de información de las empresas se colapsarían con rapidez. Por ejemplo cuando Walmart empezó a utilizar RFID, generaba del orden de 2 TBytes de datos por segundo.
- Encaminamiento de los datos: El middleware facilita la integración de las redes de elementos y sistemas RFID de la aplicación. Para ello dirige los datos al sistema apropiado dentro de la aplicación.
- Gestión de procesos: El middleware se puede utilizar para disparar eventos en función de las reglas de la organización empresarial donde opera, por ejemplo, envíos no autorizados, bajadas o pérdidas de stock, etc.
- Gestión de dispositivos: El middleware se ocupa también de monitorizar y coordinar los lectores RFID, así como de verificar su estado y operatividad, y posibilita su gestión remota.

Muchos de los middleware desarrollados o en desarrollo se ajustan a los estándares de EPCGlobal, conocidos como Savant. La especificación Savant ordena los componentes del middleware de acuerdo a sus funciones.

En la actualidad, el desarrollo del middleware dista de ser algo acabado. Los sistemas actuales se centran sobre todo en la integración y la coordinación, con funciones de filtrado básicas. La evolución será hacia la gestión avanzada de dispositivos, integración de aplicaciones, integración de Partners, gestión de procesos y posibilidad de desarrollo de aplicaciones.

Debido al reciente interés que ha surgido en el middleware, han aparecido gran cantidad de suministradores, aunque no se puede decir que en la actualidad exista ninguno que sea dominante. Algunos de los actores en el mercado en este momento son:

- Proveedores de software de aplicación empresarial, que ofrecen complementos RFID a las aplicaciones de software empresarial existentes.

- Proveedores de software de infraestructura, como Sun, IBM, Oracle, SAP, y Microsoft, que están ampliando sus productos middleware existentes para incluir RFID.
- Los fabricantes de equipamiento RFID extienden sus líneas de producto y se introducen en el mercado del middleware.
- Empresas que empiezan en el campo de la RFID, como GlobeRanger, OutSystems, ConnecTerra y Data Brokers, ofrecen productos para filtrado de datos y gestión y aplicación de reglas de negocio empresarial.

### **2.3.3.5. Sistema de información**

De manera similar a los códigos de barras estándar, las etiquetas RFID son simplemente un modo automatizado para proporcionar datos de entrada al sistema cliente. Sin embargo, las etiquetas RFID son capaces de proporcionar también una salida automatizada del sistema hacia la etiqueta, permitiendo la actualización dinámica de los datos que ésta porta.

El sistema de información se comunica con el lector según el principio maestro-esclavo. Esto quiere decir que todas las actividades realizadas por el lector y los transpondedores son iniciadas por la aplicación software. Cuando el lector recibe una orden de esta aplicación, establece una comunicación con los transpondedores, comunicación en la que a su vez el lector ejerce de maestro y los tags de esclavos.

El principal objetivo de la aplicación software es gestionar y tratar los datos recibidos por el lector. El sistema debe ser lo suficientemente robusto para poder manejar las múltiples lecturas que permiten realizar los sistemas RFID, coordinar tiempos y flujos de información, gestionar los distintos eventos, soportar las realimentaciones de los usuarios, introducir las actualizaciones del sistema cuando sea requerido e integrarlo con otros sistemas de información de la empresa. En todos los casos el sistema cliente necesitará modificaciones software para integrar los datos proporcionados por el lector y el programador. Sin la posibilidad de acceder a todas estas funcionalidades, el sistema RFID perderá en eficacia y no proporcionará el deseado retorno de la inversión.



### 2.3.4. Tipos de sistemas

La frecuencia de trabajo es el elemento más determinante a la hora de desarrollar un sistema RFID, por ello se va a analizar las implicaciones que conlleva trabajar en las distintas bandas de frecuencia.

Como se ha visto anteriormente las frecuencias de funcionamiento son cuatro: baja frecuencia, alta frecuencia, ultra alta frecuencia y frecuencia de microondas. A continuación se procede a analizar las características propias de cada rango de frecuencia para los sistemas RFID. Se van a considerar las siguientes características:

- Capacidad de almacenamiento de datos: Es relativo a la memoria de la etiqueta, para almacenamiento de códigos o datos.
- Velocidad y tiempo de lectura de datos: Es el parámetro al que más afecta la frecuencia de trabajo. A mayor frecuencia de trabajo mayor velocidad de transferencia de datos. Este parámetro está relacionado estrechamente con la disponibilidad de ancho de banda en los rangos de frecuencia utilizados para realizar la comunicación. Como mínimo, el ancho de banda ha de ser el doble de la tasa de bits requerida para la aplicación deseada, pero no es aconsejable seleccionar anchos de banda elevados, ya que con el aumento del ancho de banda, aumenta a su vez el nivel de ruido recibido, y por lo tanto la relación señal/ruido se reducirá.

El tiempo de lectura está ligado, como es lógico, a la velocidad de lectura y a la cantidad de datos que se vayan a transmitir.

- Cobertura: Además de la frecuencia de trabajo, depende de la potencia disponible en la etiqueta, de la que aporta la antena del lector y de las características del entorno de la aplicación. El nivel real de cobertura estará siempre condicionado por estos parámetros y por la configuración final del sistema, por lo que los valores que se indican para cada banda son ilustrativos.

Para distancias inferiores a 1 metro se consideran que la cobertura es pequeña, y para valores superiores a esta distancia son considerados altos.

- Características de la zona de lectura, como son la orientación de la etiqueta, la influencia de los obstáculos existentes en el entorno o la existencia de interferencias.
- Costes.
- Áreas de aplicación más adecuadas.

### **2.3.4.1. Sistemas de baja frecuencia (LF; 135 KHz)**

Los sistemas RFID de baja frecuencia suelen utilizar etiquetas pasivas y funcionan mediante acoplamiento inductivo.

#### **Capacidad de datos**

En el caso habitual de etiquetas pasivas, la capacidad para almacenar datos es baja, en torno a 64 bits. Si se usan etiquetas activas, se pueden alcanzar capacidades de almacenamiento de hasta 2 Kbits.

#### **Velocidad y tiempo de lectura de datos**

Las tasas de transferencia de datos son bajas, generalmente entre 200 bps y 1 Kbps.

#### **Cobertura**

Como se trata de un sistema inductivo, el campo magnético decrece muy rápidamente con la distancia y con las dimensiones de la antena. En aplicaciones en las que se desee que la zona de cobertura esté estrictamente limitada a un área pequeña, este hecho es una ventaja.

Las antenas que se usan en los sistemas de baja frecuencia son pequeñas y complejas, debido a que la tecnología está muy desarrollada

La cobertura en las etiquetas pasivas suele ser pequeña, como mucho 0,5 metros, pero también depende de la potencia disponible en la etiqueta. En las etiquetas activas, la cobertura puede superar los 2 metros, aunque como sucede con las etiquetas pasivas depende de la potencia y a su vez de la construcción, la configuración de la antena y el tamaño.

#### **Zona de lectura**

La penetración de estos sistemas depende del tipo de material, es decir, para materiales no conductores la penetración es buena, mientras que para materiales conductores la penetración no es buena. Este problema se incrementa con la frecuencia. Las interferencias electromagnéticas industriales de baja frecuencia afectan mucho a estos sistemas.

#### **Costes**

Dependen de la forma y a los requerimientos del sistema. Por lo general, las etiquetas son caras, tanto activas como pasivas, si las comparamos con sistemas de frecuencias mayores, debido a la naturaleza de los componentes utilizados y a que los costes de fabricación son superiores con respecto a los sistemas que

trabajan a frecuencias superiores. Por el contrario, el chip y el encapsulado en estos sistemas resultan más baratos.

Los lectores y programadores son más simples que los de frecuencias superiores y por tanto su coste de fabricación es menor.

### **Áreas de aplicación**

Estos sistemas son propicios para aplicaciones que requieran leer poca cantidad de datos y para pequeñas distancias, como por ejemplo, control de accesos o identificación de animales o vehículos.

La aplicación más extendida es el control de accesos, pero es recomendable el uso de etiquetas activas para ampliar la zona de lectura y mejorar la seguridad.

#### **2.3.4.2. Sistemas de alta frecuencia (HF; 13,56 MHz)**

La mayoría de estos sistemas utilizan etiquetas pasivas y su principio de funcionamiento básico es el acoplamiento inductivo, al igual que en los sistemas de baja frecuencia.

### **Capacidad de datos**

Las capacidades típicas que presentan las etiquetas pasivas van desde 512 bits hasta 8 Kbits, divididos en sectores o bloques que permiten direccionar los datos.

### **Velocidad y tiempo de lectura de datos**

La velocidad suele estar alrededor de los 25 kbps, pero también pueden encontrarse dispositivos con tasas superiores a los 100 Kbps.

El tiempo de lectura al que son capaces de leer estos sistemas es de 50 etiquetas por segundo.

### **Cobertura**

El radio de cobertura de las etiquetas pasivas suele ser de alrededor de 1 metro.

### **Zona de lectura**

La penetración que estos sistemas presentan en materiales y líquidos no conductores es buena, mientras que si existen materiales metálicos en la zona de lectura no funcionan bien debido a las reflexiones que producen estos materiales en la señal. Las interferencias electromagnéticas industriales de baja frecuencia afectan menos a estos sistemas que a los de baja frecuencia.

La orientación de la etiqueta es importante, ya que puede resultar un problema conforme aumenta la distancia, debido a las características vectoriales de los campos electromagnéticos, aunque puede contrarrestarse con el uso de antenas de transmisión más complejas.

### **Costes**

La antena del tag es más barata que la utilizada a bajas frecuencias debido a que su diseño es más sencillo.

La forma de la etiqueta y su aplicación son lo que más influye en el coste.

### **Áreas de aplicación**

Como los sistemas de baja frecuencia, estos sistemas son propicios para aplicaciones que requieran leer poca cantidad de datos y a pequeñas distancias, como por ejemplo, gestión de maletas en aeropuertos o bibliotecas y servicios de alquiler.

#### **2.3.4.3. Sistemas de ultra alta frecuencia (UHF; 433 MHz, 860 MHz, 928 MHz)**

Estos sistemas basan su funcionamiento en la propagación por ondas electromagnéticas para comunicar los datos y para alimentar la etiqueta en caso de que ésta sea pasiva.

### **Capacidad de datos**

Las capacidades típicas son desde los 32 bits hasta los 4 Kbits, que suelen dividirse en páginas de 128 bits para permitir el direccionamiento de los datos, disponibles en etiquetas activas y pasivas.

### **Velocidad y tiempo de lectura de datos**

La velocidad suele estar alrededor de los 28 Kbps, pero también pueden encontrarse dispositivos con velocidades superiores.

El tiempo de lectura al que son capaces de leer estos sistemas es de 1000 etiquetas por segundo.

### **Cobertura**

Las etiquetas de UHF pasivas pueden alcanzar de 3 a 4 metros de cobertura, mientras que con etiquetas activas y a la frecuencia de 433 MHz se pueden alcanzar los 10 metros de cobertura.

Pero hay que tener en cuenta que la cobertura está condicionada por las regulaciones de los distintos países correspondientes a la cantidad de potencia permitida, ya que en Europa es menor que en Estados Unidos. La estandarización es insuficiente y la tecnología está poco desarrollada.

### **Zona de lectura**

La penetración que estos sistemas presentan en materiales conductores y no conductores es buena, mientras que presenta dificultades ante la presencia de líquidos. Las interferencias electromagnéticas industriales de baja frecuencia afectan menos que a los sistemas de baja frecuencia, pero hay que tener en cuenta la influencia de otros sistemas UHF operando en las proximidades.

La orientación de la etiqueta también es importante en este sistema, así como en los sistemas de HF, ya que, debido a las características vectoriales de los campos electromagnéticos, puede resultar un problema conforme aumenta la distancia, aunque puede contrarrestarse con el uso de antenas de transmisión más complejas.

### **Costes**

El factor que afecta principalmente al coste es la forma. Las tarjetas inteligentes representan la opción más barata para los sistemas UHF.

### **Áreas de aplicación**

Válida para aplicaciones en las que la distancia de transmisión es superior a las bandas vistas con anterioridad, por ejemplo en el seguimiento de bienes y artículos o en la logística de las cadenas de suministros.

#### **2.3.4.4. Sistemas en frecuencia de microondas (2,45 GHz, 5,8 GHz)**

### **Capacidad de datos**

En el mercado existen sistemas de etiquetas activas y pasivas, con capacidades que van generalmente desde los 128 bits hasta dispositivos de 512 Kbits, que permiten direccionar los datos mediante la división en sectores o bloques.

### **Velocidad y tiempo de lectura de datos**

La velocidad suele ser elevada a pesar de depender del diseño del tag. La típica de estos sistemas está por debajo de los 100 Kbps, aunque algunos dispositivos pueden llegar a 1 Mbps.

Por ejemplo transmitiendo a 100 Kbps, en un segundo podrían leerse 1000 etiquetas.

### Cobertura

Entre 1 y 2 metros para dispositivos pasivos y hasta 15 metros o más para dispositivos activos.

### Zona de lectura

La penetración que estos sistemas presentan no conductores es buena, mientras que para líquidos que contienen agua, donde el coeficiente de absorción es importante, no es buena. Es reflejado por metales y otras superficies conductoras y es susceptible al ruido.

### Costes

Los factores que afectan principalmente al coste son la forma y los modos de alimentación (activo/pasivo)

### Áreas de aplicación

Válida para aquellas aplicaciones en las que se requieren velocidades de transmisión y valores de cobertura elevados. Por ejemplo en control de accesos o peajes de carreteras.

Para finalizar este apartado, se recogen las características de las etiquetas de las distintas frecuencias de trabajo de forma comparativa en la tabla que puede verse bajo estas líneas.

Parámetros	LF (135 KHz)	HF (13,56 MHz)	UHF (433 MHz, 860 MHz, 928 Mhz)	Frecuencia de microondas (2,45 GHz, 5,8 GHz)
Cobertura	Menor	←————→		Mayor
Tamaño de la etiqueta	Mayor	←————→		Menor
Velocidad de lectura de datos	Menor	←————→		Mayor
Lectura en presencia de líquidos o metales	Mejor	←————→		Peor
Lectura en presencia de interferencias EM	Peor	←————→		Mejor

Tabla 2.5. Comparativa de las características asociadas a cada rango de frecuencia

### 2.3.5. Comparativa con tecnologías competidoras

Existen alternativas a la tecnología RFID en el ámbito de la identificación automática. Por una parte están las tecnologías de identificación y captura de datos que se han utilizado hasta ahora, de las que el código de barras es la más importante, que se han desarrollado mucho y que están muy integradas en el mercado. Y por otra parte, aparecen nuevas tecnologías a las que les queda mucho para desarrollarse, algunas de ellas se basan en ondas de radio (RFID) y otras en la lectura láser (código de barras).

Primero se va a comparar la tecnología RFID con tecnologías ya existentes, que son el código de barras y los botones de contacto. Las características que se tendrán en cuenta en la comparativa son la posibilidad de modificar los datos, la seguridad de los datos, la cantidad de datos almacenados, los costes, los estándares, la vida útil, la distancia de lectura, el número de elementos que se puede leer simultáneamente y la posibilidad de interferencias.

#### 2.3.5.1. Códigos de barras

Ésta tecnología se basa en la representación de la información mediante un conjunto de líneas paralelas verticales de distinto grosor y espaciado.

Los códigos de barras presentan diversas ventajas como son la facilidad de implementación, el bajo coste y la amplia madurez y la disponibilidad de productos. Por el contrario, presentan diversos inconvenientes como su limitación de una única lectura cada vez, o que sólo se puede almacenar un código de información. También requieren línea de visión física para realizar la lectura.

Existen tres tipos principales de códigos:

- Códigos lineales.
- Códigos de barras 2-D.
- Códigos matriciales.

A continuación se va a analizar por separado las características de cada uno de estos códigos.

#### Códigos lineales

Es el caso típico de código de barras. Nos los encontramos habitualmente en la vida cotidiana, como por ejemplo en los supermercados. Formados por un

conjunto de bandas verticales alternando negras y blancas. La información se encuentra codificada en el diseño que forman dichas barras. La lectura de este tipo de códigos de barras se realiza mediante un escáner LED o láser.



Figura 2.34. Ejemplo de código de barras

A continuación se van a ver las características de este tipo de código de barras:

- *Posibilidad de modificar los datos:* Nula, una vez impreso el código de barras, no puede modificarse.
- *Seguridad de los datos:* No usan cifrado y el estándar es muy conocido.
- *Cantidad de datos almacenados:* Pueden almacenar hasta 30 caracteres.
- *Costes:* Muy bajos.
- *Estándares:* Aunque existen más de 200 esquemas diferentes de códigos de barras en uso, existen cuatro tipos dominantes de: UPC/EAN, Interleaved 2-of-5, Código 39 y Código 128, y se encuentran cubiertos por la International Organization for Standardization (ISO).
- *Vida útil:* Baja, debido a que es información impresa que tiende a borrarse con el tiempo, aunque se pueden proteger.
- *Distancia de lectura:* Necesita línea de visión, por lo que la lectura debe ser cercana.
- *Número de elementos que se pueden leer simultáneamente:* Sólo se puede leer un código cada vez.
- *Posibilidad de interferencias:* Los códigos de barras no suelen tener corrección contra errores, y los daños físicos en la etiqueta del código pueden imposibilitar su lectura. Además son sensibles al polvo y a la suciedad, tanto en la etiqueta como en las lentes del lector.

## Códigos de barras 2-D

Estos códigos consisten en una pila de códigos de barras muy cortos dispuestos ordenadamente para su descodificación. El estándar más utilizado es PDF 417.





Figura 2.35. Ejemplo de código de barras 2-D

Sus características son muy semejantes a las del código lineal. Sus principales diferencias son:

- *Seguridad de los datos:* Emplean corrección de errores mediante códigos Reed-Solomon, con lo que se podría destruir parte de la etiqueta sin destruir la información.
- *Cantidad de datos almacenados:* Pueden almacenar hasta 1 Kbyte.
- *Costes:* Muy bajos.
- *Estándares:* PDF 417 es un estándar de ISO.
- *Posibilidad de interferencias:* Son más robustos a los errores de lectura que los códigos lineales, aunque cantidades importantes de polvo o suciedad los pueden inutilizar por completo.

### Códigos matriciales

Están formados por elementos simples (puntos o cuadrados) dispuestos formando un modelo bidimensional. Se pueden ver este tipo de códigos en los billetes de tren.



Figura 2.36. Ejemplo de código matricial

Las principales diferencias entre este tipo de código y el código de barras lineal son:

- *Seguridad de los datos:* Parecida a la de los códigos de barras 2-D.
- *Cantidad de datos almacenados:* Similar a la de los códigos de barras 2-D.
- *Costes:* Más altos que los anteriores.
- *Estándares:* Existen diferentes estándares, pero los más importantes son: Data Matrix, códigos QR y MaxiCode.

### 2.3.5.2. Botones de contacto

A pesar de tratarse de una tecnología no muy extendida, es una alternativa potencial a la RFID. Esta tecnología requiere contacto físico entre el lector y la etiqueta en forma de botón para realizar la lectura.



Figura 2.37. Ejemplo de memoria de botón



Figura 2.38. Ejemplo de lectores para memorias de botón

Las características más reseñables de esta tecnología son:

- *Posibilidad de modificar los datos:* Es posible leer y escribir muchas veces la información almacenada en un botón.
- *Seguridad de los datos:* Los datos pueden estar cifrados.
- *Cantidad de datos almacenados:* Hasta 8 MB.
- *Costes:* A partir de 0,5€.
- *Estándares:* No existe un estándar aceptado debido a que se trata de tecnologías propietarias.
- *Vida útil:* Limitada al ser necesario el contacto físico.
- *Distancia de lectura:* Es necesario el contacto físico entre el lector y la etiqueta.
- *Número de elementos que se pueden leer simultáneamente:* Sólo se puede leer una etiqueta cada vez.
- *Posibilidad de interferencias:* Muy bajo debido a que se requiere contacto físico.

### 2.3.5.3. Tecnologías competidoras emergentes

Como se ha comentado con anterioridad, ya existen otras tecnologías en fase de desarrollo que, al ofrecer funcionalidades parecidas, pueden considerarse competidoras de RFID. Seguidamente se describen brevemente.

#### Ondas Acústicas de Superficie (Surface Acoustic Waves, SAW)

En esta tecnología, las etiquetas de lectura no requieren un chip de procesamiento, por lo que es posible disponer de éstas a muy bajo coste. El funcionamiento de esta tecnología es la que sigue: al recibir el tag la señal radio del lector, un transductor que está en el tag la convierte en una onda acústica, que incide sobre la superficie metálica construida sobre él a tal efecto. Se puede ver un esquema de este dispositivo bajo estas líneas.

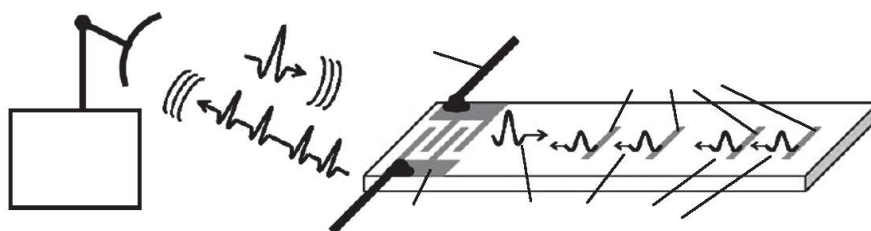


Figura 2.39. Esquema del funcionamiento de la tecnología SAW

La superficie metálica reacciona según un patrón preestablecido, reflejando la señal acústica de vuelta hacia el transductor que la convierte de nuevo en señal de radio. Las ventajas son que el coste es menor que en RFID, como ya hemos comentado anteriormente, y que su funcionamiento en presencia de líquidos y metales es muy bueno a diferencia de sistemas RFID en HF y UHF. Por el contrario estas etiquetas no son modificables, ya que se codifican en su fabricación, y que aún existen problemas para evitar colisiones entre lecturas.

#### Tags celulares

El inconveniente del etiquetado celular es que las células mueren y por ello es preciso reemplazar el tag frecuentemente. Sin embargo, es probable que este tipo de etiquetado tenga éxito para tratamientos médicos, ya que ofrece identificación durante el tratamiento y luego se desecha. Además se pueden usar para identificar células cancerosas o para guiar a robots quirúrgicos durante una operación. Pero las posibilidades ofrecidas por RFID superan los beneficios de los tags celulares.

### Tags UWB (Ultra Wide Band)

Esta tecnología funciona transmitiendo señales simultáneamente en múltiples bandas de frecuencia pero emitiendo una potencia muy baja, dotándola de mayor rango de operación, menor consumo de energía y mayor robustez frente a interferencias. Por el contrario, el coste de este tipo de etiquetas es mucho mayor que las etiquetas RFID.

### Tags ópticos

Requieren una orientación precisa para posibilitar su lectura, esto los hace poco prácticos para la mayoría de las aplicaciones que se consideran. Su principal ventaja es que permite proporcionar diferente información en función del ángulo de lectura, característica que puede ser de gran utilidad en aplicaciones de alta seguridad, ya que sólo desde el ángulo correcto se puede acceder a la información correcta. Además es posible combinar la información procedente de varios lectores para dotar de aún más seguridad a la información.

### Tags de ADN

Etiquetas que contienen pequeños fragmentos de ADN, para sistemas antirrobo y antifalsificación.

### Tags de software

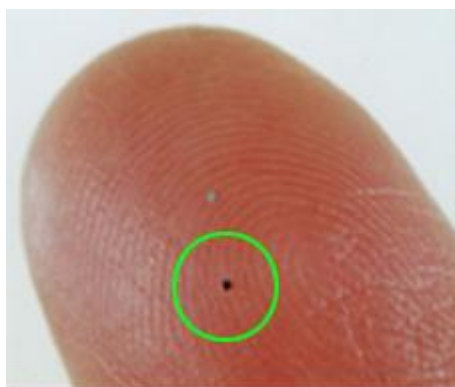
Es una aplicación que permite asociar una determinada imagen o patrón a un enlace a Internet con información. Es muy útil para acceder a gran cantidad de información relacionada con el objeto etiquetado.

#### 2.3.5.4. RFID

A pesar de que ya se han visto en profundidad las características de este sistema, para facilitar la comparativa veremos los aspectos que se han tenido en cuenta en el resto de tecnologías:

- *Posibilidad de modificar los datos:* Depende del estándar que se utilice, pero sí es posible. Se recuerda que existe una clasificación de las etiquetas en función de su posibilidad de lectura/escritura: de sólo lectura, de una escritura y múltiples lecturas o de lectura-escritura.
- *Seguridad de los datos:* En las últimas generaciones de dispositivos es posible cifrar los datos, impidiendo la lectura con lectores estándar.
- *Cantidad de datos almacenados:* Hasta 1 MB de información.
- *Costes:* En descenso a medida que se aplican los últimos avances tecnológicos.

- *Estándares:* Existen diferentes estándares universalmente aceptados y relacionados con la banda de frecuencia utilizada que determina el tipo de sistema RFID. Los más importantes son el EPC y el ISO.
- *Vida útil:* La vida útil de las etiquetas pasivas es muy grande ya que no utilizan baterías. Las etiquetas activas tienen vida limitada debido a la duración de su batería.
- *Tamaño:* Variado, desde el tamaño de un botón hasta el tamaño de un paquete de tabaco. Hitachi a lanzado el mu-chip, de tamaño 0,4 x 0,4 mm, con espesor de 0,06 mm, que usa tecnología de 2,4 GHz.



**Figura 2.40. Mu-chip de Hitachi**

- *Distancia de lectura:* Del orden de un metro en etiquetas pasivas y de decenas de metros para etiquetas activas. No se necesita línea de visión directa entre el transmisor y el receptor.
- *Número de elementos que se pueden leer simultáneamente:* Un lector puede leer cientos de etiquetas de forma prácticamente simultánea.
- *Posibilidad de interferencias:* Dependiendo de la frecuencia, la existencia de materiales de madera o metal o la presencia de líquidos en el entorno pueden impedir la comunicación.

### 2.3.6. Near Field Communications

Esta tecnología, que se denominará a partir de ahora por sus siglas NFC, ofrece nuevas funcionalidades a la tecnología RFID propiamente dicha, gracias a la combinación de una etiqueta y un lector en un mismo dispositivo, facilitando así la comunicación bidireccional entre dos dispositivos, pudiendo actuar ambos como emisor y como receptor.

La tecnología NFC resulta muy útil aplicada a los dispositivos móviles, de forma que el usuario lleva una etiqueta RFID con sus datos en su móvil, y un lector que permite leer información de otras etiquetas. De este modo se complementa la comunicación a corta, media y larga distancia provista por los dispositivos móviles (Bluetooth, WiFi, GPRS, UMTS), con la comunicación a muy corto alcance (del orden de centímetros) provista por NFC.

NFC surgió en el año 2002 a raíz de la colaboración entre Philips, Sony y más tarde Nokia. Es un estándar ISO, ECMA y ETSI [17] que trabaja en la banda de frecuencia HF (13,56 MHz) y por tanto con un rango de cobertura pequeño (menor de 10 cm). En la actualidad las velocidades de transmisión de datos que ofrece NFC son de 106, 212 y 424 Kbps, ya que está pensada para intercambiar información de forma rápida, eficiente y segura. Al igual que el resto de tecnología RFID, NFC tiene los modos de operación activo y pasivo.

El NFC Forum ha desarrollado cuatro tipos de etiquetas diferentes que todo dispositivo NFC debe soportar:

- Tipo 1: Basado en ISO 14443 A. Proporcionado por Innovision Research Research & Technology (Topaz™). Posee una capacidad de hasta 1 Kb y velocidades de transmisión de 106 Kbps. Son etiquetas de bajo coste.
- Tipo 2: Basado en ISO 14443 A. Proporcionado por NXP Semiconductors (MIFARE Ultralight). Posee una capacidad de 0,5 Kb y velocidades similares a las de las etiquetas tipo 1. Son etiquetas de bajo coste.
- Tipo 3: Basado en FeliCa (que deriva de ISO 18092). Proporcionado por Sony, con capacidades de hasta 2 Kb y velocidades de 212 Kbps. El coste es mayor aunque útil para aplicaciones más complejas.
- Tipo 4: Basado en ISO 14443 A/B. En este caso son varios fabricantes los que proporcionan este tipo de etiquetas. Posee capacidad de hasta 64 Kb y velocidades comprendidas entre 106 Kbps y 424 Kbps.

La elección del tipo de etiqueta a utilizar depende del tipo de aplicación que se necesite. NFC es especialmente útil en su aplicación a medios de pago, aunque también se está tratando de introducir en aplicaciones de transporte, control de

accesos o entornos sanitarios y cuidados de la salud. Existen tres tipos de aplicaciones fundamentales que la tecnología NFC puede habilitar:

- Conexión P2P (Peer To Peer) entre dos dispositivos NFC: Facilita la transferencia de datos para la sincronización y autoconfiguración entre dos dispositivos, por ejemplo, en el momento de establecer una conexión posterior de más largo alcance o de mayores tasas de transferencia (WiFi, Bluetooth).
- Pagos y tickets: facilita la realización de pagos electrónicos y la obtención de billetes de transporte de forma inteligente.



**Figura 2.41. Ejemplo de pago mediante la tecnología NFC**

- Servicios de inicialización: Facilita el descubrimiento de servicios o el desbloqueo/lanzamiento de éstos (por ejemplo, abrir una puerta o lanzar una aplicación).

En el ámbito de la salud, la tecnología NFC ofrece interesantes escenarios de aplicación, especialmente en la gestión de pacientes que sufren enfermedades crónicas y requieren una periódica monitorización. En este sentido, NFC ofrece a los pacientes la posibilidad de acceder a los sistemas de monitorización en el hogar. Los equipos de medida dotados de tecnología NFC se comunican con el móvil del paciente, que envía la información recogida al centro de salud. Este proceso de autogestión garantiza la provisión de un tratamiento adecuado y actualizable en tiempo real, en función de la evolución del paciente, cualidad especialmente útil en el caso de enfermedades crónicas.

Otra oportunidad significativa podría surgir en la atención a pacientes externos, permitiendo a los profesionales sanitarios atender a pacientes externos que se encuentran en sus domicilios. Lo mismo ocurre con las visitas domiciliarias, en los que el profesional que realiza la visita, puede leer la información del paciente y administrarle en consecuencia los servicios o tratamientos apropiados.

Por último el progreso e implantación de la receta electrónica permitirá realizar la compra de medicamentos directamente desde el teléfono móvil NFC.

El futuro de esta tecnología es aún incierto. Aunque actualmente existen algunas experiencias y proyectos al respecto, aún resultan insuficientes para mostrar al mercado las potencialidades de esta tecnología. Hoy en día, existen pruebas de esta tecnología incorporada a teléfonos móviles que se están utilizando comercialmente como medio de pago en Alemania y Austria, y existen proyectos piloto en Londres, Singapur, Holanda y Finlandia y Nueva York, entre otros. El futuro parece por tanto prometedor. Jupiter Research lo confirma: el mercado de pagos por móvil alcanzará los 22 billones de US\$ en 2011.

Finalmente el éxito de esta tecnología dependerá de la producción masiva de dispositivos móviles NFC (como el Nokia 6131 NFC), que aún resulta demasiado escasa. Pero no únicamente depende de la tecnología en sí, sino también de la estandarización e interoperabilidad que se logre alcanzar, y de la superación de los temas de seguridad y privacidad. Además, será necesario considerar la complejidad de las relaciones entre todos los actores del modelo de negocio: administración, operadoras de telefonía y el sistema bancario.



### 3. METODOLOGÍA EMPLEADA

En este apartado se van a ver tanto el proceso que se ha seguido para realizar las medidas experimentales como el material necesario para llevarlas a cabo.

#### 3.1. Proceso de medida

La importancia de este proceso es muy grande, debido a que además de validar los resultados obtenidos mediante los modelos de propagación por comparación con las medidas experimentales, estas serán más exactas puesto que cada escenario es completamente diferente a otro y por tanto las características constructivas que afectan a la señal son muchas en cada escenario y es muy complicado tener en cuenta todos estos obstáculos mediante los modelos de propagación. Por ejemplo, todas las superficies reflectantes o absorbentes, la importancia de los rayos reflejados que contribuyen a la potencia final recibida en un punto debido a la propagación multitrayecto, etc.

Hay que tener en cuenta varios aspectos a la hora de realizar las medidas experimentales para que los datos obtenidos sean lo más rigurosos posibles. Vamos a ver los aspectos más importantes que hay que tener en cuenta a la hora de realizar medidas experimentales:

- 1) El primer aspecto que hay que tener en cuenta es la elección del escenario en el que se van a realizar las medidas, ya que en cada escenario nos encontraremos con diferentes “obstáculos” que habremos de tener en cuenta para realizar una valoración correcta de las medidas y poder interpretarlas correctamente, desde características constructivas como hemos dicho antes, hasta posibles fuentes de interferencias electromagnéticas.
- 2) El montaje e instalación es un punto en el que hay que poner especial atención, puesto que se trabaja con material delicado que puede romperse o descalibrarse, haciendo que sea imposible obtener resultados o que los resultados obtenidos sean erróneos. Por ello el material se ha tratado con cuidado, se han calibrado correctamente los aparatos que lo necesitan, se han realizado correctamente las conexiones necesarias y orientar las antenas de forma correcta en función de su diagrama de radiación. Para mantener las antenas estáticas y orientadas correctamente se han utilizado elementos estáticos como trípodes u otras superficies de apoyo, siempre teniendo en cuenta que estas sean “invisibles” para el frente de onda y así no afectar a la medida.
- 3) Por último se realizan las medidas, se deja el emisor estático y se varía la posición del receptor, midiendo siempre la distancia que hay entre emisor y receptor para luego comparar con los modelos. Se intenta medir sin que haya

personas situadas entre el emisor y el receptor ya que absorben potencia, cosa que en escenarios de tránsito se hace difícil y más aún conforme aumenta la distancia entre el emisor y el receptor.



Figura 3.1. Antena de panel conectada al generador lista para transmitir en el pasillo de los Tejos

## 3.2. Material de medida

A continuación se va a ver una lista detallada de los instrumentos utilizados para llevar a cabo las medidas de cobertura RFID.

- **Antena de panel**

Esta antena se ha utilizado para transmitir la señal. Es una antena que se ha diseñado específicamente para aplicaciones RFID. Tiene polarización circular que ofrece máxima flexibilidad y rendimiento. Se puede usar tanto en entornos interiores como exteriores. Su radio axial extremadamente bajo proporciona una ganancia uniforme para un rendimiento superior [14].



Figura 3.2. Antena de panel

Las especificaciones de esta antena son:

Modelo: Motorola AN480

Rango de frecuencia: 865-956 MHz

Ganancia: 6 dBi

Dimensiones: 25,91 x 25,91 x 5,03 cm (Sin tornillos de montaje 25,91 x 25,91 x 3,35 cm)

Ancho de haz (tanto horizontal como vertical): 65 °

Conector: Hembra tipo N

Impedancia nominal: 50  $\Omega$

Polarización: Circular a izquierda

- **Antena de un cuarto de longitud de onda**

Esta antena se ha utilizado como receptora. Es un dipolo de un cuarto de longitud de onda que opera a 868 MHz que la hace ideal para sistemas RFID [13].



**Figura3.3. Antena de un cuarto de longitud de onda**

Las especificaciones de esta antena son:

Modelo: RF Solutions FLEXI-SMA90-868

Rango de frecuencia: 868 MHz

Ganancia: 2 dBi

Dimensiones: 79 mm de longitud y 14 mm de diámetro

Material: Acabado en plástico flexible y duro

VSWR < 2.0

Conector: SMA

Impedancia nominal: 50  $\Omega$

Temperatura de operación: De -30 a +85°C

- **Analizador portátil**

Se ha utilizado este analizador para ver el nivel de potencia recibido en la antena receptora. Gracias a que es portátil se ha podido variar la posición de

esta sin dificultad. Este analizador es muy útil ya que combina el analizador de cable/antena, el analizador de espectro, analizador de interferencias, medidor de potencia, analizador vectorial de redes y un voltímetro [12].



**Figura 3.4. Analizador portátil de Agilent**

Las especificaciones de este analizador de espectros son:

Modelo: Agilent Technologies N9912A FieldFox RF Analyzer

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

Ancho de banda de resolución: 10 Hz a 2 MHz

Ancho de banda de vídeo: 1 Hz a 2 MHz

Precisión: 0,1 dB

Rango: +30 dBm a -170dBm

Dimensiones: 292 x 188 x 72 mm

Peso 2,8 Kg

- **Generador de señal**

Se ha utilizado este aparato para generar la señal de 868 MHz necesaria para analizar un sistema RFID. En función de las características del entorno en el que se hayan realizado las medidas se ha transmitido con una potencia diferente.



**Figura 3.5. Generador de señal Rohde & Schwarz modelo SMY02**

Las especificaciones de este generador son [15]:

Modelo: Rohde & Schwarz modelo SMY02

Rango de frecuencias: de 9 KHz a 2080 MHz

Rango de nivel de señal: -140 dBm a +13 dBm

Resolución frecuencial: 1 Hz

Frecuencias de modulación: 1 Hz a 500 KHz

Ruido de fase bajo en la banda lateral

Rechazo de espurios alto

Separación de canales estéreo de 50 dB

- **Material adicional**

También se ha utilizado un trípode [16] (como el que se ve en la Figura 3.6) para apoyar la antena transmisora y cables coaxiales para realizar las conexiones entre las antenas y el generador/analizador.



**Figura 3.6. Leica GST20-9 Wooden Telescopic Tripod**

## 4. RESULTADOS DE SIMULACIÓN Y MEDIDA

En este punto se pueden ver los resultados obtenidos tanto de forma experimental como mediante los modelos de propagación para diferentes escenarios. Los resultados experimentales obtenidos se comparan con los resultados obtenidos mediante los modelos de propagación para comprobar que modelos se ajustan más a los resultados experimentales.

Con estos resultados, se hará una extrapolación hacia el ámbito de la salud, y se verán las posibles aplicaciones y la viabilidad de instalar sistemas RFID en el ámbito de la salud.

También hay que señalar antes de presentar los resultados que se ha trabajado con sistemas RFID con una frecuencia de trabajo de 868 MHz, frecuencia que pertenece a la banda de ultra alta frecuencia (UHF) cuyas características se han visto anteriormente.

## 4.1. Resultados

Se van a ver pues los resultados obtenidos en los diferentes recintos caracterizados.

### 4.1.1. Medidas experimentales en el pasillo del primer piso del edificio departamental de los Tejos

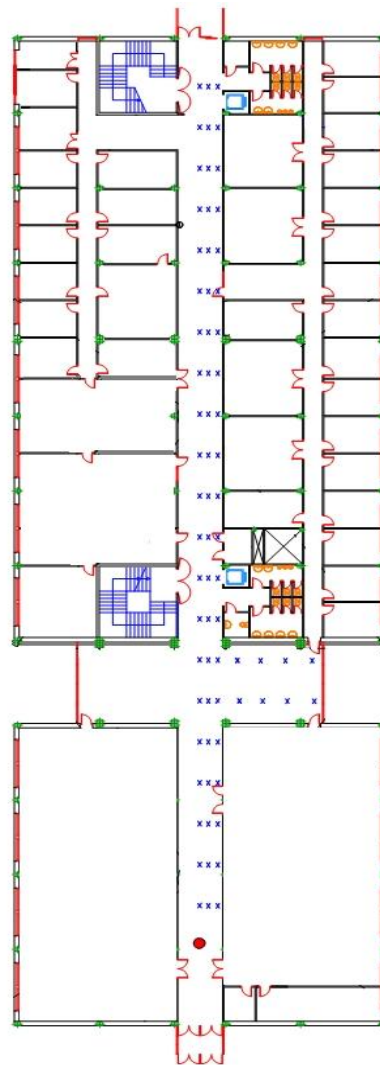
Las medidas están situadas en el pasillo del primer piso del edificio departamental de los Tejos, situado en el campus de la UPNA en Pamplona. Este pasillo tiene 75 metros de largo, y se han realizado las medidas cada 3,35 metros estando la primera medida situada a 5 metros de la antena emisora. Se realizaron medidas tanto en el centro del pasillo como en el lateral, y una tercera serie de medidas en medio de estas dos situaciones.



Figura 4.1. Pasillo del primer piso del edificio de los Tejos

Este pasillo también tiene una zona perpendicular a la dirección del pasillo donde se han realizado medidas cuando el pasillo gira 90° a la derecha debido a la simetría de la localización.

En la Figura 4.2 puede verse la planta de la localización de la que se habla de forma que queda más claro la localización de las medidas realizada señaladas como una "X" azul.



**Figura 4.2. Esquema del pasillo donde se indican los puntos de medida**

En el caso de las medidas realizadas en el pasillo, la antena ha transmitido a una potencia de 20 dBm.

Comenzamos analizando los resultados obtenidos en el centro del pasillo, que pueden verse en la Figura 4.3.



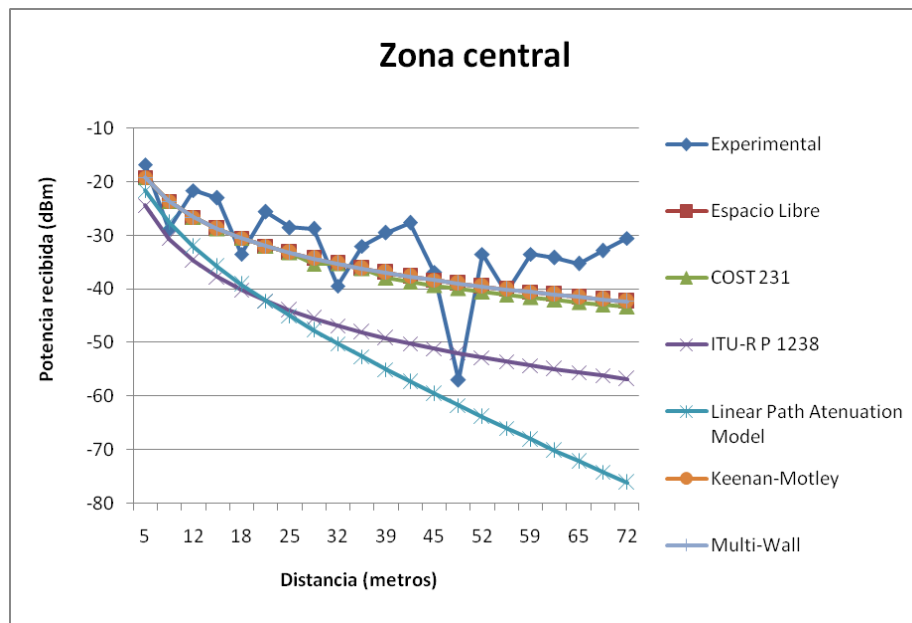


Figura 4.3. Resultados experimentales y empíricos en la zona central del pasillo

Lo primero que hay que señalar es que, como es de esperar, la potencia recibida decrece conforme aumenta la distancia.

Como puede verse todos los modelos de propagación se aproximan a los valores obtenidos experimentalmente, con la excepción de los modelos ITU-R P 1238 y el Linear Path Atenuation Model ya que estos dos modelos no son adecuados para una caracterización en recintos interiores. También hay que destacar el descenso brusco de la medida experimental a la distancia de 48,55 metros debido a la propagación multitrayecto, ya que en ese punto las reflexiones de la onda directa, que se sumarán a ésta, están en contrafase, y por tanto restan potencia.

También puede observarse en la curva que representa las medidas experimentales que en los últimos metros, correspondientes a la zona final del pasillo, la potencia recibida presenta un ligero crecimiento con respecto a los puntos anteriores de la gráfica. Esto puede deberse a que al tratarse de propagación multitrayecto, las ondas reflejadas al final del pasillo contribuyan positivamente al rayo directo, es decir lleguen en fase, aumentando así la potencia. Los modelos experimentales no predicen este incremento.

A continuación se presentan, en las figuras 4.4 y 4.5, los resultados análogos en la zona situada entre la zona central y la zona junto a la pared, que llamaremos zona lateral, y la zona junto a la pared.

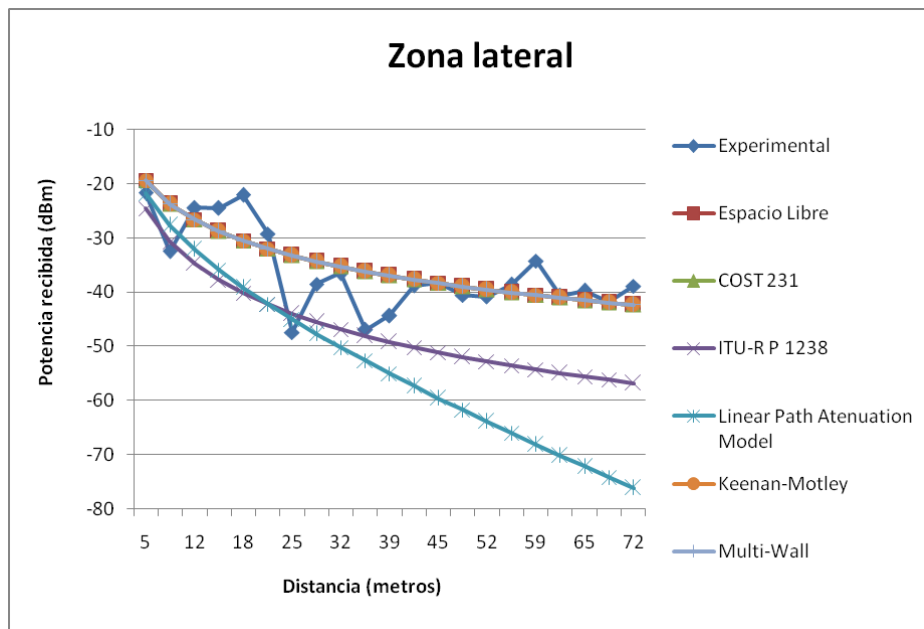


Figura 4.4. Resultados experimentales y empíricos entre el centro del pasillo y la pared

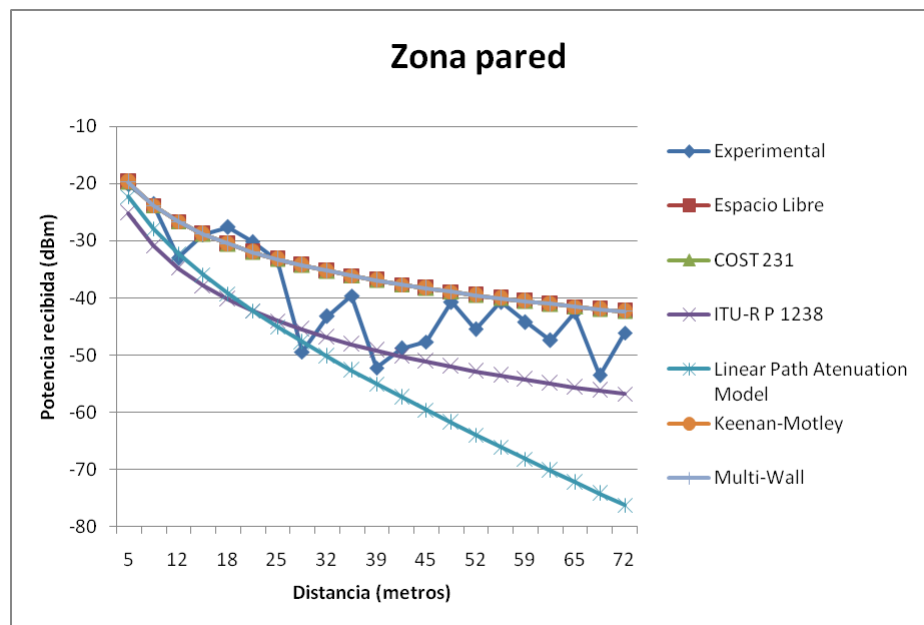


Figura 4.5. Resultados experimentales y empíricos en la zona en la pared del pasillo

Como es lógico, los valores de potencia obtenidos experimentalmente en estas zonas son algo menores que en la zona central, ya que el rayo directo influye más en esta última.

Al igual que en la zona central, los resultados experimentales se ajustan en gran medida a los obtenidos empíricamente con la excepción de los dos modelos comentados anteriormente.

A continuación se analiza, por separado del resto de medidas en el pasillo, la zona que denominamos “huevo de las ventanas”, ya que se trata de un giro de 90º del pasillo como puede apreciarse en la Figura 4.6.



Figura 4.6. Detalle del espacio denominado “huevo de las ventanas”

Los resultados obtenidos tanto experimentalmente como mediante los modelos de propagación se muestran a continuación en dos gráficas, la primera de ellas representa los resultados en la línea más cercana al transmisor, y la segunda los más lejanos respecto de este.

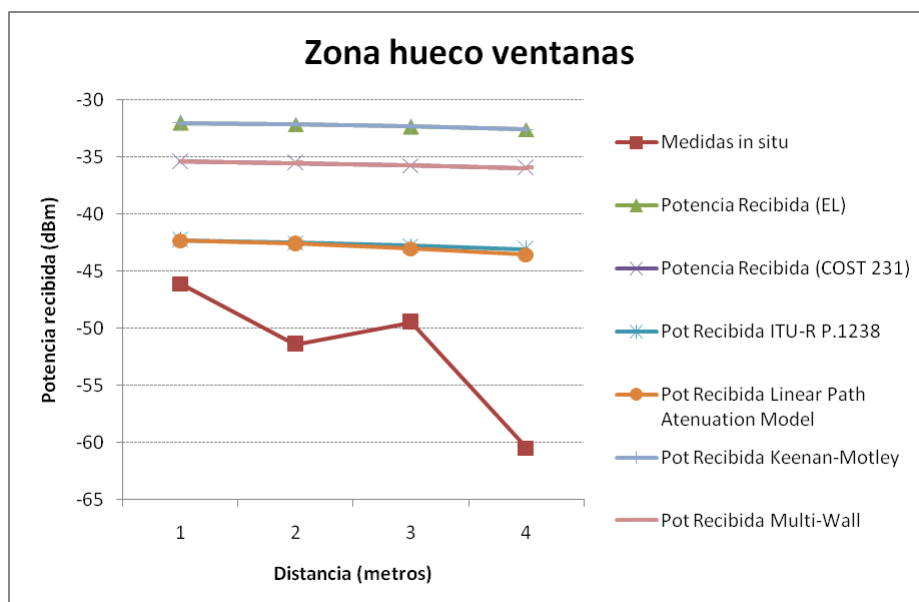


Figura 4.7. Comparativa de potencia recibida en la zona más cercana del hueco de las ventanas

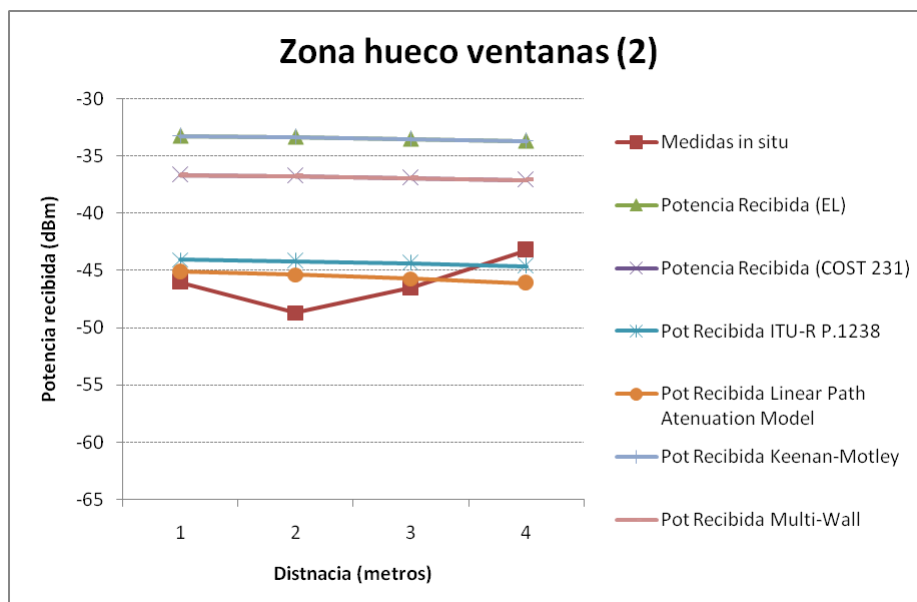


Figura 4.8. Comparativa de potencia recibida en la zona más alejada del hueco de las ventanas

Como puede verse, en esta zona los resultados obtenidos experimentalmente se aproximan más a los obtenidos mediante los modelos de propagación ITU-R P 1238 y Linear Path Atenuation Model, que son precisamente los modelos que menos se ajustaban antes, pero hay que tener en cuenta que en esta zona, la mayor parte de la potencia recibida se debe a la difracción de la onda en la esquina de 90°, que no hay línea de visión directa entre transmisor y receptor, y que estos modelos no tienen en cuenta estos fenómenos (difracción de bordes, consideraciones de materiales del escenario, etc.).

A continuación se muestra una tabla en la que se ven valores típicos de diferentes tipos de lectores, tanto fijos como móviles, que se usaran para ver las posibilidades existentes para instalar un sistema RFID.

	Lectores Fijos		Lectores Móviles	
	Tag-Reader HP	Tag-Reader LP	Carretilla	Manual
Sensibilidad (dBm)	-80	-40	-70	-30

Tabla 4.1. Valores típicos de sensibilidad para diferentes tipos de lectores

Con estos resultados se puede comprobar que emitiendo a una potencia nominal de 20 dBm es posible una lectura no deseada de una etiqueta a largas distancias, ya que con dos de los lectores vistos en la tabla se superan los -61 dBm, que es el valor más bajo obtenido en las medidas experimentales, por lo que sería posible que un lector intruso situado más lejos detectase la señal emitida.

Se tiene acceso, por colaboración, a un mapa de cobertura del pasillo del que se ha estado hablando y se adjunta bajo estas líneas. Es una forma más visual de presentar los resultados de los que se han estado hablando:

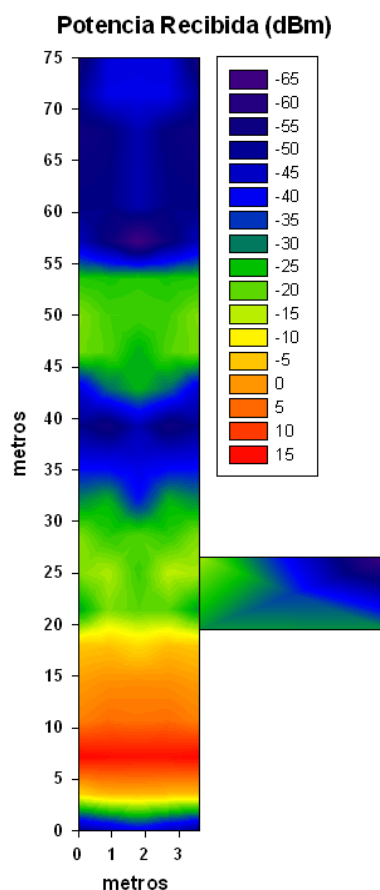


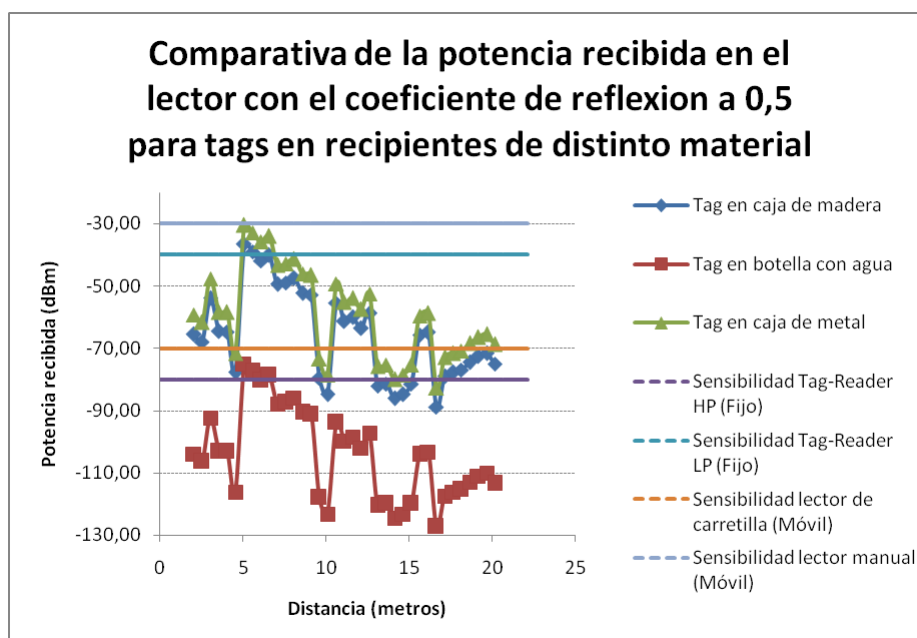
Figura 4.9. Mapa de cobertura del pasillo

A continuación va a realizarse un análisis más exhaustivo del pasillo utilizando el modelo dual-slope que tiene en cuenta las pérdidas por rebote en el tag, y realizando comparativas entre diferentes materiales en los que puede estar contenido el tag, diferentes secciones radar y diferentes coeficientes de reflexión del tag.

Se realiza en el pasillo debido a que es el recinto más parecido a un hospital, es más, bien podría ser el pasillo de un hospital.

Con los resultados obtenidos se hace una comparativa con los valores típicos vistos en la Tabla 4.1 y así se ve si sería posible la instalación de un sistema RFID. También hay que señalar que como los sistemas de RFID no tienen un radio de cobertura muy amplio, se va a analizar el pasillo en los 20 primeros metros desde el transmisor.

Se va a ver pues la primera de las gráficas obtenidas. En esta gráfica podemos ver los resultados obtenidos, utilizando los niveles de potencia en el pasillo mediante trazado de rayos, para tags con coeficiente de reflexión de 0,5, valor típico en los tags que se encuentran hoy día en el mercado, en diferentes superficies, metal, madera y agua contenida en una botella de vidrio:



**Figura 4.10. Comparativa de la potencia recibida en el lector con el coeficiente de reflexión del tag a 0'5 con éste en recipientes de distinto material**

Como en este proyecto se analizan las aplicaciones de RFID en el ámbito sanitario, a partir de ahora se estudiarán únicamente los casos en los que el tag se encuentra en una superficie de metal (camas del hospital o instrumental) o en una botella con agua (material más parecido al cuerpo humano, ya que éste en un 70% es agua), que son los materiales en los que se pueden encontrar las etiquetas RFID en el ámbito sanitario.

En cuanto a los resultados que pueden verse en la gráfica, como era de esperar, los valores obtenidos con el tag en la botella con agua son muy bajos todos ellos por debajo de -75 dB, por lo que será realmente difícil implementar un sistema RFID con el tag en este material. Sin embargo para el caso del tag en metal, los resultados son muy buenos, sobre todo hasta los 13 metros, por lo que podría implementarse sin problemas un sistema RFID utilizando el metal como superficie en la que colocar el tag con lectores o bien móviles de carretilla o bien fijos HP.

A continuación van a verse, como dato puramente ilustrativo de cómo afecta el coeficiente de reflexión en un tag para los materiales que afectan a este estudio, metal y vidrio con agua, las gráficas obtenidas para valores del coeficiente de reflexión desde 0'1 hasta 1 con incrementos de 0'1.

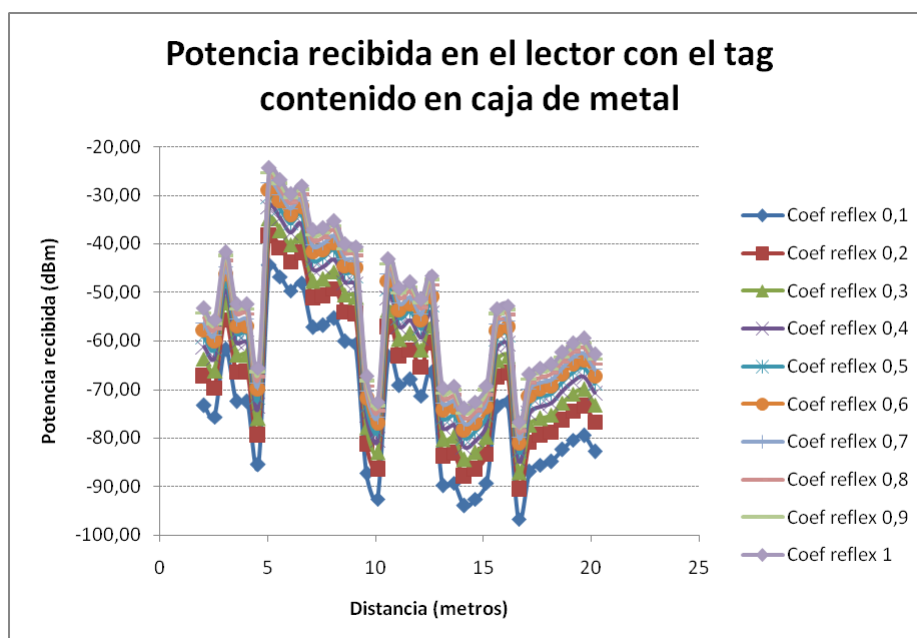


Figura 4.11. Resultados obtenidos con diferentes coeficientes de reflexión con el tag en caja de metal

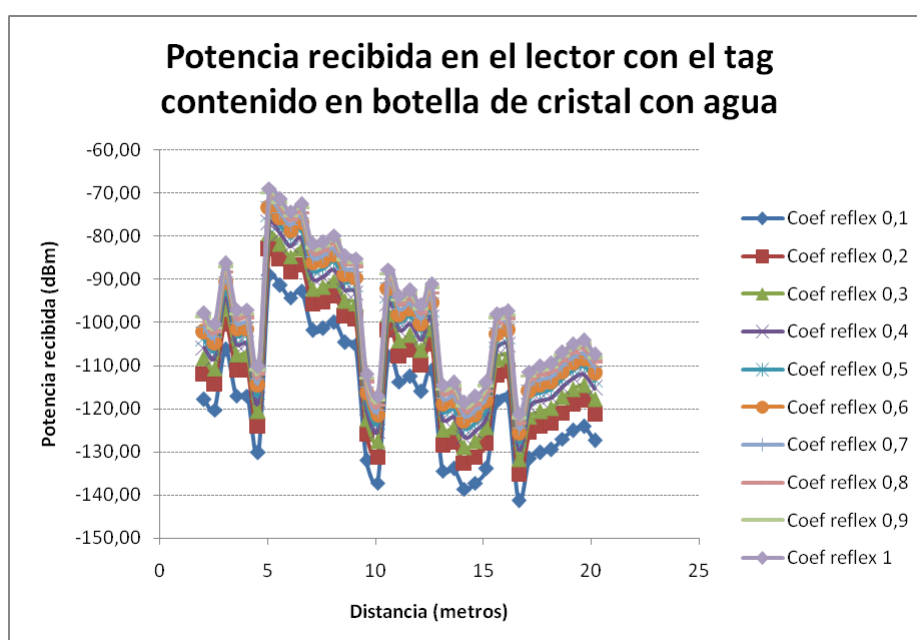


Figura 4.12. Resultados obtenidos con diferentes coeficientes de reflexión con el tag en botella de cristal con agua

Como es lógico y puede comprobarse observando estas gráficas, la potencia recibida en el lector tras “rebotar” en la etiqueta aumenta conforme aumenta el coeficiente de reflexión de ésta.

A continuación se va a realizar un análisis similar, también utilizando el modelo dual-slope, pero en esta ocasión lo que se varía es la sección radar del tag, manteniendo el coeficiente de reflexión fijo a 0,5, pudiendo comprobar cuál es su influencia en la potencia recibida en el lector.

En la siguiente tabla se muestran las secciones radar que se han utilizado en este análisis y las ganancias del tag en función de dichas secciones radar.

	Moon maximum measured mean	Moon minimum measured mean	Moon maximum simulated mean	Moon minimum simulated mean	Yen I open	Yen II conjugate match	Yen III reactive load
Sección Radar	-18,13	-19,93	-17,286	-22,616	-20,087	-18,297	-18,356
Ganancia en el tag (lineal)	2,54	2,07	2,80	1,52	2,03	2,50	2,48
Ganancia en el tag (dBi)	4,05	3,15	4,48	1,81	3,08	3,97	3,94

Tabla 4.2. Secciones radar y sus correspondientes ganancias en el tag

Como se puede ver, las ganancias que se utilizan son muy parecidas, con poco más de 1 dB de separación entre la mayor y la segunda menor debido al valor mínimo simulado por Moon de 1,81 dBi, que es el único valor que se aleja del resto. Seguidamente se puede ver los valores de potencia recibida en el lector, con el tag en metal y en botella de vidrio con agua, para los diferentes valores de sección radar.

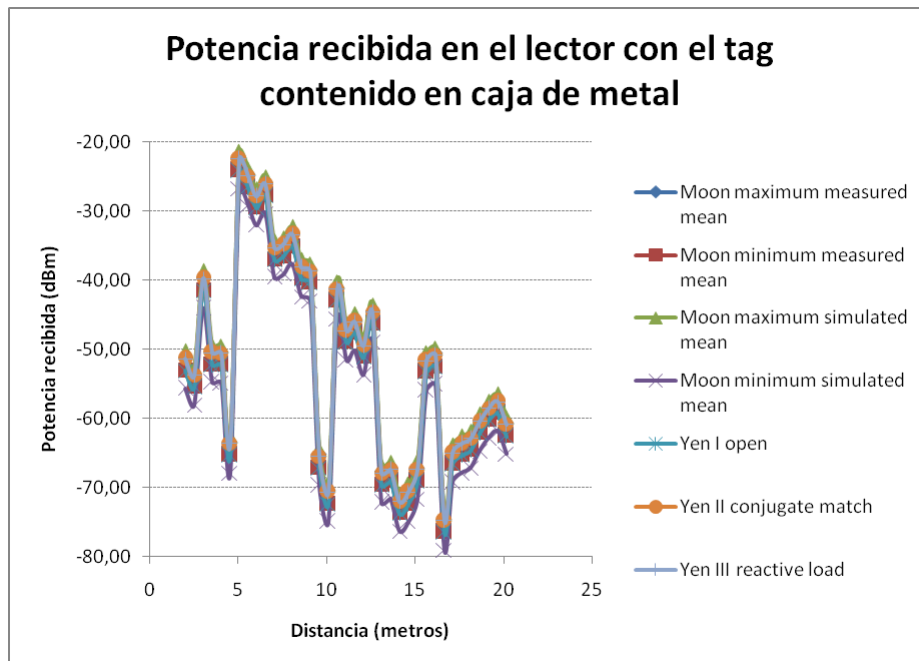


Figura 4.13. Resultados obtenidos con diferentes secciones radar con el tag en caja de metal



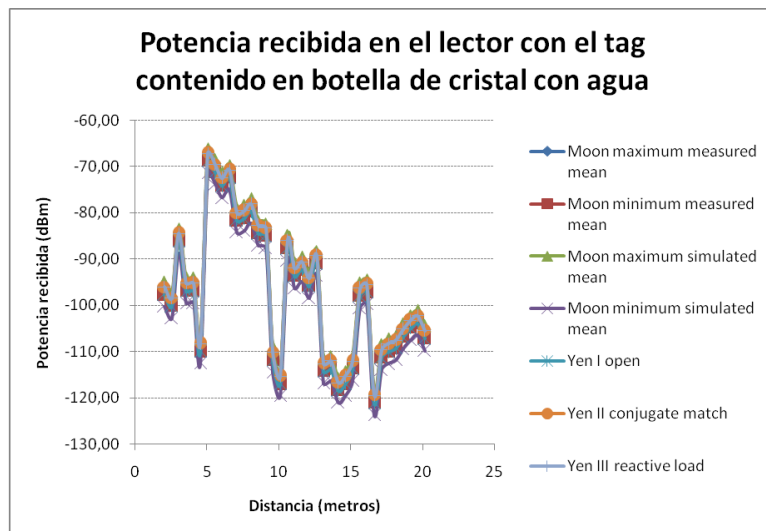


Figura 4.14. Resultados obtenidos con diferentes secciones radar con el tag en caja de metal

Como se ha comentado, los valores de ganancia del tag son muy parecidos y por tanto los valores de potencia recibida también los son, como puede verse en las dos gráficas anteriores.

Ahora se verá la comparativa entre los dos materiales que encontraremos en entorno sanitario, con la sección radar Moon maximum measured mean. También figuran en la gráfica los valores típicos de sensibilidad para diferentes lectores vistos anteriormente, permitiendo ver la posibilidad de instalar un sistema RFID.

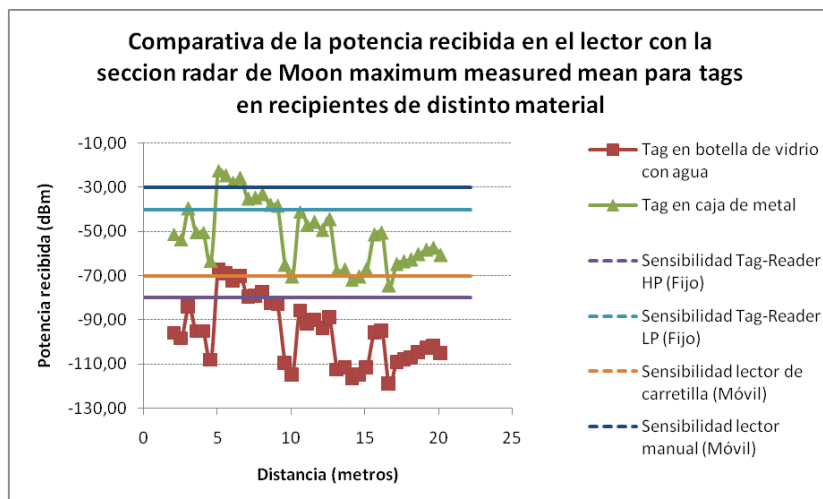


Figura 4.15. Comparativa de la potencia recibida en el lector con la sección radar del tag Moon maximum measured mean con éste en recipientes de distinto material

Nuevamente se puede comprobar cómo sería posible la instalación de un sistema RFID con el tag sobre metal con la utilización, o bien de un lector móvil de carretilla, o bien de un lector fijo HP, mientras que sería imposible si se quiere colocar el tag en personas (hay que recordar la similitud entre la botella de agua y el cuerpo humano que es un 70% de agua).

### 4.1.2. Medidas experimentales en el laboratorio de radiocomunicaciones

Las medidas están situadas en el laboratorio de radiocomunicaciones en el segundo piso del edificio departamental de los Tejos, situado en el campus de la UPNA en Pamplona. Se han realizado las medidas cada 1,7 metros, colocando la antena emisora en lo que llamaremos zona central, que se corresponde con la mitad derecha del laboratorio como puede apreciarse en la Figura 4.17 marcado como un círculo rojo. También se realizaron medidas en la mitad izquierda que llamaremos zona ventanas, pero éstas más distanciadas, el doble de la distancia original de una a otra, es decir, 3,4 metros, para ver la influencia de la línea de visión directa entre transmisor y receptor.



Figura 4.16. Imágenes del laboratorio de radiocomunicaciones

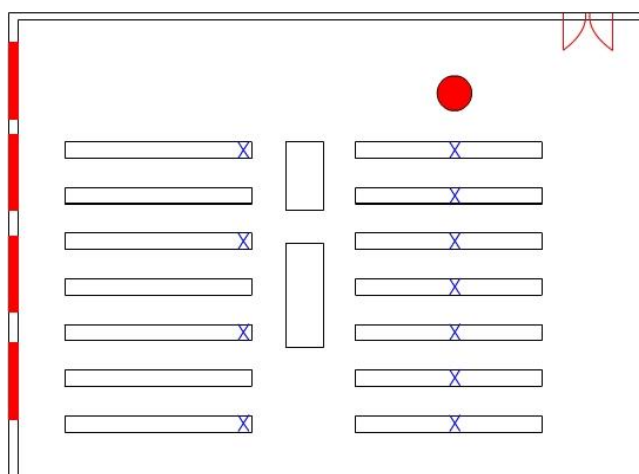


Figura 4.17. Planta del laboratorio de radiocomunicaciones en la que se muestran los puntos de medida

A continuación se muestran los resultados obtenidos tanto de forma experimental como con el uso de los modelos de propagación en las dos zonas anteriormente comentadas:

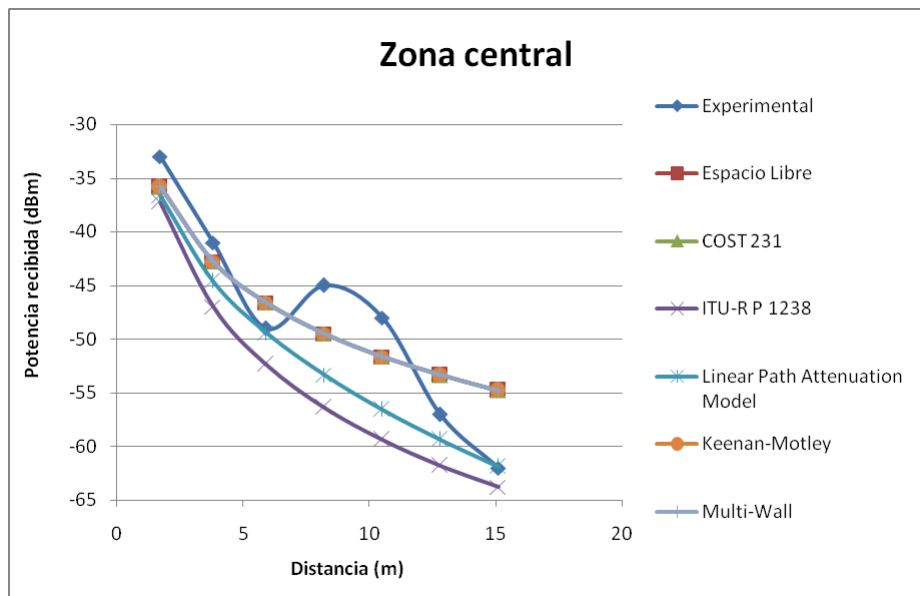


Figura 4.18. Comparativa de potencia recibida en la zona central del laboratorio

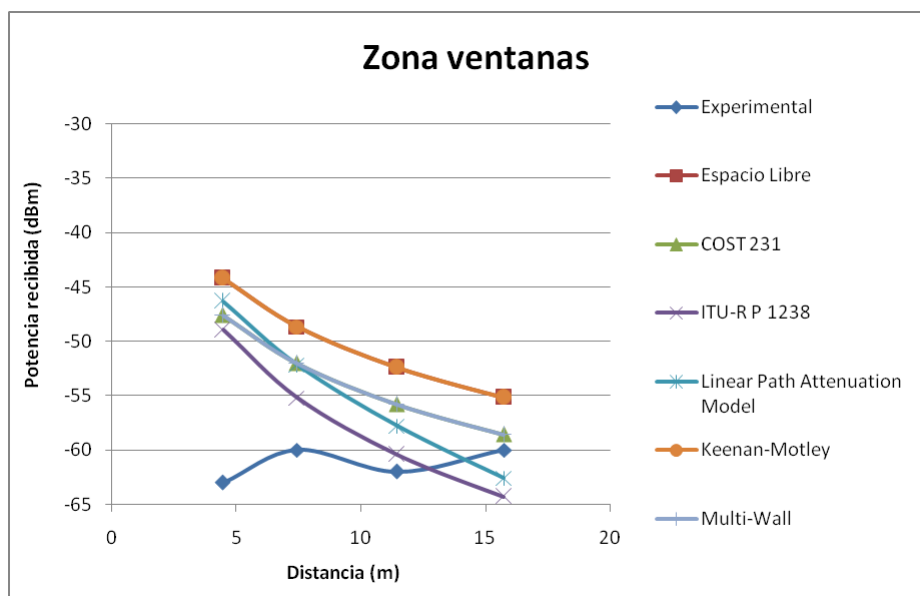


Figura 4.19. Comparativa de potencia recibida en la zona de las ventanas del laboratorio

Como puede verse, las medidas experimentales se ajustan más en la zona central, lo cual es lógico. Las subidas y bajadas de las medidas experimentales se corresponden a las contribuciones tanto constructivas como destructivas debidas a la propagación multirrayecto, como se ha comentado anteriormente. Dependiendo del punto serán mayores las contribuciones constructivas y a la inversa. Hay que destacar, que los armarios situados en la mitad del laboratorio son de metal, material reflectante, es por ello que la señal decae tanto en la zona de ventanas, ya que la mayor parte de la potencia se refleja en los armarios.

### 4.1.3. Medidas experimentales en las galerías del casco antiguo de Pamplona

Las medidas se realizaron en las galerías que recorren las calles del centro de Pamplona por el subsuelo. Estas galerías se utilizan para el suministro de agua, electricidad, telefonía, recogida de residuos por absorción. Se accede a ellas a través de una puerta que se encuentra en la cuesta de Santo Domingo, a la altura del ayuntamiento, en las escaleras que conectan dicha calle con la calle San Saturnino.



Figura 4.20. Vista de la galería en la que se realizaron las medidas

Los resultados se obtuvieron midiendo únicamente en la línea recta a partir del transmisor debido a que el espacio en estas galerías es reducido. Se realizaron mediciones experimentales tanto a la ida como a la vuelta, es decir, al principio se iba alejando el receptor con respecto al transmisor, y luego se hizo el camino inverso, obteniendo dos resultados para cada punto, y por tanto, obteniendo resultados más fiables.

La distancia entre las medidas es generalmente de 4,5 metros de una a la siguiente, pero en ocasiones esta distancia varía para no perder la referencia de las planchas de metal que hacen las veces de suelo y que se utilizaron de referencia.

Hay que señalar, que este es un recinto especial, puesto que la presencia de interferencias es nula, ya que se trata de galerías de hormigón subterráneas, por ejemplo, no hay cobertura para móviles.

A continuación pueden verse los resultados obtenidos tanto experimentalmente como con el uso de los modelos de propagación.

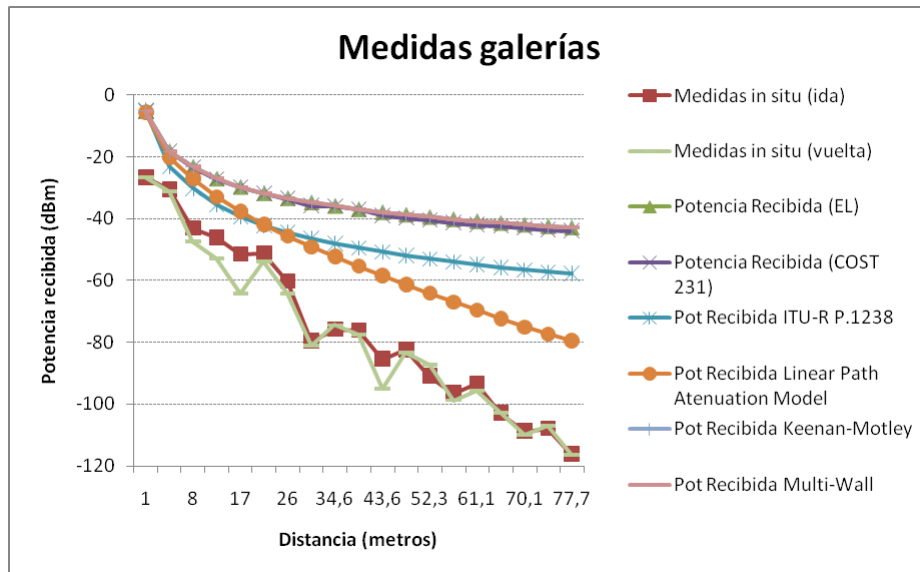


Figura 4.21. Resultados de la potencia recibida en las galerías utilizando medidas experimentales y modelos de propagación

Como puede verse los resultados experimentales no se asemejan con los obtenidos mediante los modelos de propagación, esto es debido a una casuística especial que se da en un entorno como éste.

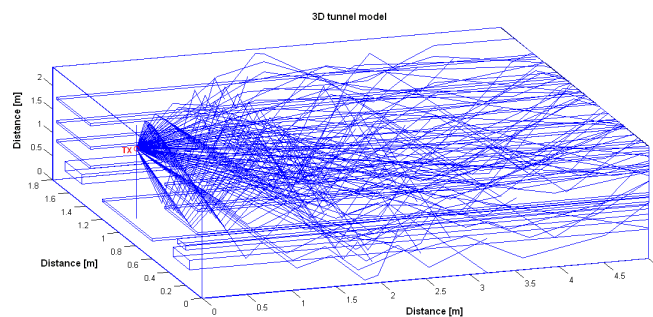
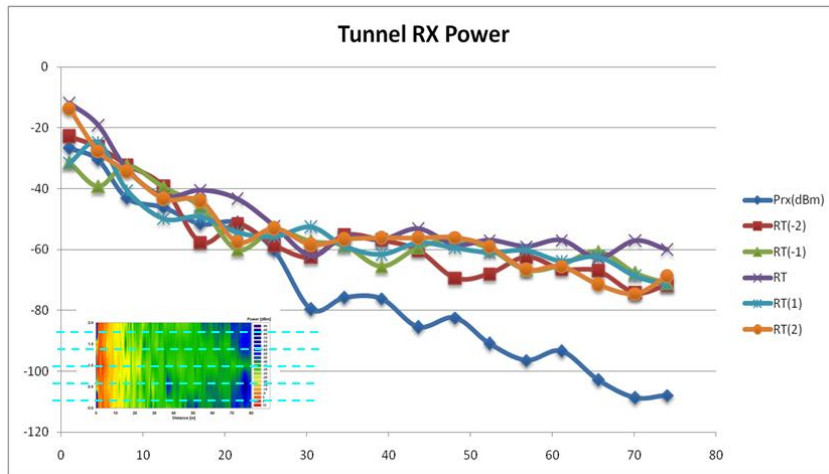


Figura 4.22. Trazado de rayos en las galerías



**Figura 4.23. Resultados de la potencia recibida en las galerías utilizando medidas experimentales y trazado de rayos**

Se pueden observar diferencias notables (superiores a 20 dB) para distancias superiores a 20 metros en los resultados obtenidos por trazado de rayos y las medidas efectuadas en el interior de las galerías. Esta diferencia se puede explicar teniendo en cuenta que al pasar de región de campo cercano a campo lejano, las contribuciones de las componentes multitrayecto pierden relevancia frente al rayo directo, lo que reduce la precisión del algoritmo. La forma adecuada para poder realizar el análisis pasa por la implementación de técnicas basadas en el acoplo del frente de onda a un modelo de guía de onda dieléctrica. Dicho método se considera como una línea futura, dada la complejidad inherente a su implementación.

## 5. CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

### 5.1. Conclusiones

Las conclusiones a las que se llega tras el estudio y el análisis de un sistema RFID son:

- En la propagación de una señal de RFID a lo largo de un recinto interior, se producen desvanecimientos que afectan a la potencia final recibida, en ocasiones de forma crítica.
- La cobertura de los sistemas RFID no es muy grande y depende directamente del tipo de lectores que se usen, por lo que habrá que tener en cuenta este hecho a la hora de instalar un sistema RFID.
- A la hora de la instalación de un sistema RFID en un recinto interior hay que tener presente el entorno en el que va a situarse dicho sistema, objetos y materiales presentes en el recinto, puesto que es un factor crítico en dicha instalación.
- La caracterización de recintos mediante la utilización de modelos empíricos es muy poco fiable, su fiabilidad disminuye conforme aumenta la complejidad del entorno, ya que dichos modelos no tienen en cuenta formas y materiales presentes en el recinto, por lo que para la caracterización de recintos interiores resulta más fiable el uso del trazado de rayos que sí tiene en cuenta estos factores.
- En recintos hospitalarios existen aparatos que crean campos electromagnéticos muy fuertes que interferirán con un sistema RFID, por lo que es un factor importante a tener en cuenta.
- Existen riesgos de seguridad ya que existe la posibilidad de que se realicen lecturas no deseadas en el campo de actuación de un sistema RFID.

## 5.2. Líneas futuras

Respecto a las medidas realizadas:

- Se puede aumentar el número de medidas y de recintos de medida para contrastar más resultados, con el fin de validar los modelos empíricos con múltiples medidas y el de analizar recintos con características diferentes e incluso recintos con características especiales, como las galerías del casco viejo.
- Sería interesante y práctico realizar medidas en el entorno que se analiza en este proyecto, es decir, en entornos sanitarios, ya sea el hospital o centros de salud, para encontrarnos en una situación real de evaluación con el objetivo de instalar un sistema RFID en el ámbito sanitario.
- Se puede adquirir material real de RFID como lectores y etiquetas típicos en entornos sanitarios, o incluso sistemas como el Mobitel o el VeriChip, para realizar un análisis más exhaustivo y real.
- Analizar recintos con casuística especial con técnicas basadas en el acoplo del frente de onda a un modelo de guía de onda dieléctrica.



## ANEXOS

### Anexo I. Entrevista al doctor Miguel Aizcorbe

Esta entrevista surge de una charla compartida con Miguel Aizcorbe, doctor en medicina y cirugía y profesor clínico asociado de la Universidad de Navarra. En ella se le explicaron al doctor Aizcorbe los fundamentos básicos de la tecnología RFID y algunas de sus aplicaciones en el ámbito sanitario. A continuación se expone la opinión que le merece la posibilidad de instalar un sistema de RFID en su lugar de trabajo, el Hospital Virgen del Camino, y las ventajas y posibles aplicaciones que él, como cirujano en activo desde hace 35 años con dedicación preferente al área de urgencias en los últimos años, ve en este tipo de sistema.

*“Sobre la posibilidad de implantar un sistema de localización e identificación de determinados elementos o personas en el ámbito sanitario, me parece una idea enormemente atractiva. Yo llevo trabajando 35 años en un hospital y dentro de la problemática inmensa que es un hospital, hay una serie de elementos claves que en mi opinión tendrían cabida.*

*Básicamente este sistema, por lo que usted me explica, es un sistema de localización e identificación. Aplicándolo a un hospital, **lo más importante es obviamente el paciente**, y aunque parezca mentira en ocasiones no sabemos dónde está un paciente, sobre todo en las áreas de urgencias.*

*De todos modos, incluso en el **área normal**, que es el área donde es mas inhabitual no saber donde está un paciente, en ocasiones los pacientes son sometidos a diferentes pruebas y es importante saber en qué lugar exacto está localizado un paciente para saber qué es lo que le están haciendo y cuanto tiempo va a estar ausentado de su habitación.*

*Pero el problema más importante lo tenemos en el **área de urgencias** que es donde los pacientes más se mueven de un lugar a otro del hospital para hacerse diferentes pruebas. Este movimiento tanto de pacientes como de familias es constante, con lo que tiene especial relevancia en la organización hospitalaria. De modo que si nosotros pudiéramos monitorizar, se me ocurre a mí como persona totalmente al margen de este sistema, la localización de un paciente, sabríamos exactamente donde lo podemos localizar, como podemos enlazar una prueba con otra sin necesidad de volver cada vez al punto de origen, e incluso saber el tiempo de espera del paciente en un lugar determinado y si en un momento determinado esa espera ha sido exagerada.*

*Otra área importante en la que aplicar la localización de pacientes, es el **área infantil**. Obviamente existen muchos sistemas para identificar a los niños recién nacidos y es anecdótico el error de estos pacientes. Pero evidentemente podría también instalarse un sistema de localización e identificación de los niños recién nacidos, e incluso establecer un vínculo con la madre.*

*También en el área infantil, en ocasiones se crean situaciones de tensión cuando algún familiar acude a ver a un niño y no lo encuentra en la habitación. Claramente, si en ese momento, la enfermera sabe exactamente dónde está ese niño, no solo puede tranquilizar a los familiares sino que también les podrá decir el lugar exacto en el que está ese niño, e incluso las pruebas que le están realizando o bien si está en tránsito.*

*Hay otra zona, enormemente interesante y que probablemente es donde se pueden producir más errores, a veces de consecuencias irreparables, que es el ámbito de las **muestras biológicas**. Las muestras biológicas, en un hospital son múltiples.*

*Las muestras más habituales son las **muestras de recogida** de los pacientes, que son las tomas de sangre, de orina o de otros fluidos corporales como puede ser fluido vaginal, esperma o heces. Éstas son tomadas de los pacientes para posteriormente trasladarse a un laboratorio. Probablemente si este tipo de muestra se perdiese no ocurriría gran cosa, pero sería una pérdida económica y además al tener que repetir la toma volveríamos a causar molestias al paciente. Por eso si, una vez obtenida esta muestra, se le coloca un sistema de identificación se hace imposible su extravío, solucionando los problemas anteriormente citados.*

*De todos modos el elemento más importante dentro de las muestra, son las **muestras biológicas**. Estas muestras son las que se toman del paciente tanto para estudios de células como de tejidos y se obtienen habitualmente en las áreas de cirugía, de anatomía patológica o de radiología. Estas muestras biológicas tienen una **importancia extrema** puesto que de ellas va a depender el diagnóstico de un paciente. A lo largo de un día son múltiples las muestras biológicas, las tomas de órganos, de tumores, de tejidos sanos para identificación que se hacen a un paciente y es enormemente importante que permanentemente estén identificadas y localizadas, para saber, no sólo donde se encuentran en cada momento que es importante ya que evita el extravío de muestras, sino que también para evitar cualquier error en su traslado o manipulación.*

*Por último, también hay un elemento muy importante y que no se nos escapa que es el material. El material más importante en un hospital es la medicación porque tiene un elevado coste, pero los flujos de medicación en casi todos los hospitales están bien identificados y los tienen bien controlados. Sin embargo, hay otro elemento muy importante que son **los materiales quirúrgicos** o de otras áreas como la nuclear. Materiales que se utilizan en los quirófanos, materiales de un solo uso, materiales reactivos y fundamentalmente muy caros. Todos estos materiales se almacenan en diferentes lugares del centro puesto que es importante que exista un pequeño almacén próximo al lugar de trabajo. Pero si tenemos en cuenta que las áreas sanitarias son variadas en una comunidad en la que hay diferentes hospitales, esto significa que tenemos un elevado número de almacenes en un hospital lo que dificulta enormemente el control de la cantidad y la seguridad de estos materiales. Por lo tanto, si pudiésemos marcar cada elemento, cada objeto y esto lo trasladásemos a una única zona de control, tendríamos un*

*conocimiento exacto del número de unidades que tenemos y de su localización. Con lo cual, obviamente, el ahorro económico sería importante puesto que quitaríamos todos esos pequeños almacenes intermedios y probablemente con un solo almacén que suministrara los elementos al resto sería suficiente.*

***Como conclusión, me atrevería a decir que en este sistema que me propone, todo son ventajas, aunque evidentemente en el binomio, coste-beneficio es donde muchas veces radica la oportunidad pero no hay que olvidar que la pérdida de una muestra biológica a veces es irreparable.***

## Anexo II. Trabajo presentado y aceptado en el XXV Simposium Nacional de la Unión Científica Internacional de Radio (URSI 2010)

# 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>, Victor Torres<sup>(1)</sup>, Daniel Chávam<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. INTRODUCCION

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.

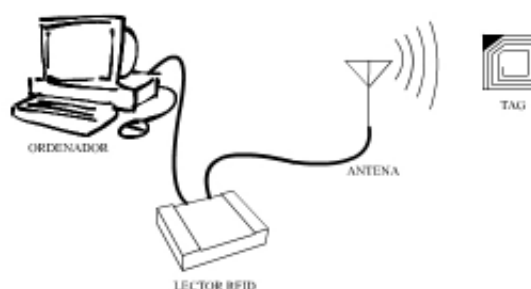


Fig. 1. Esquema ilustrativo del funcionamiento de la tecnología RFID

### 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.).

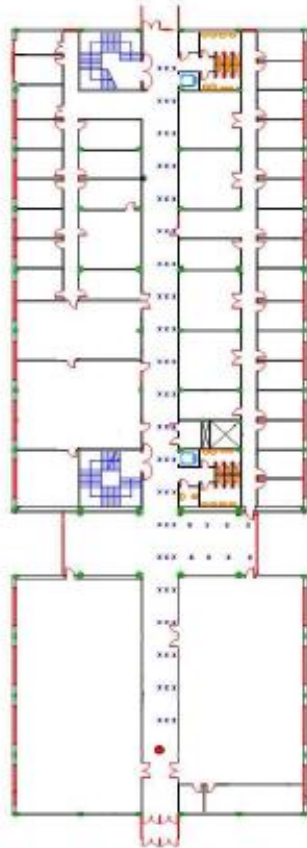


Fig. 2. Planta del primer piso del edificio de los tejos donde se realizaron algunas de las medidas experimentales

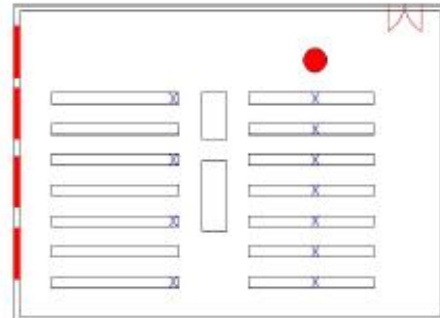


Fig. 3. Planta del laboratorio de la segunda planta del edificio de los tejos donde se realizaron algunas de las medidas experimentales

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 realizaron 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.

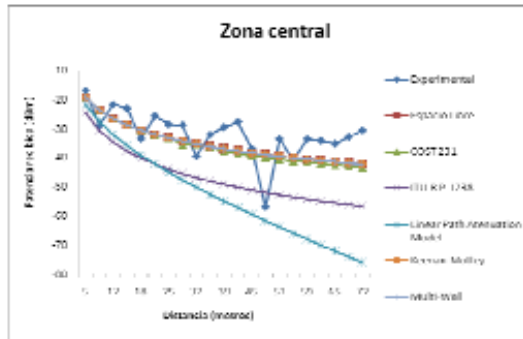


Fig. 5. Resultados experimentales y empíricos en la zona central del pasillo

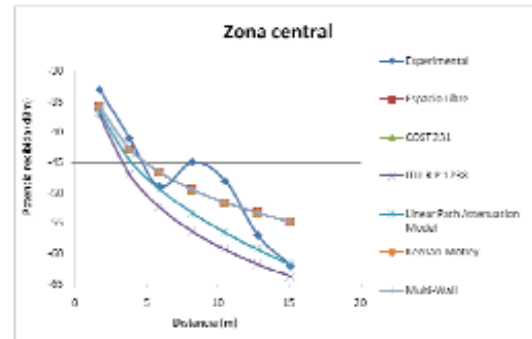


Fig. 8. Resultados experimentales y empíricos en la zona central del laboratorio

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.

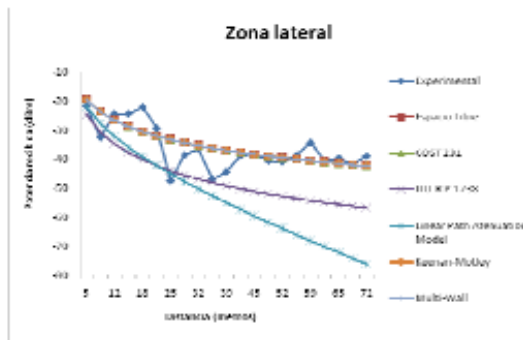


Fig. 6. Resultados experimentales y empíricos en la zona entre el centro del pasillo y la pared

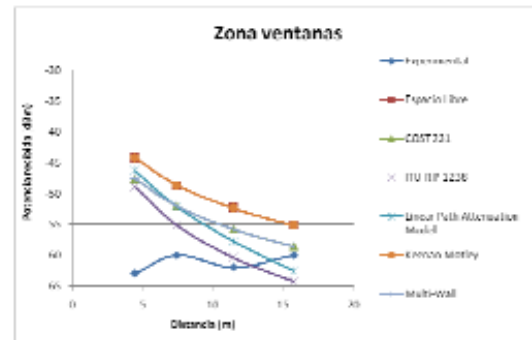


Fig. 9. Resultados experimentales y empíricos en la zona de las ventanas del laboratorio

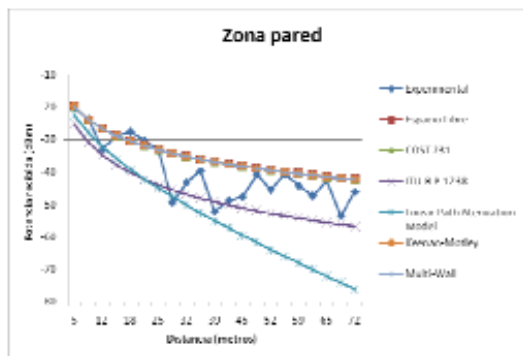


Fig. 7. Resultados experimentales y empíricos en la pared del pasillo

	Lectores Fijos		Lectores Móviles	
	Tag-Reader HP	Tag-Reader LP	Carenilla	Manual
Sensibilidad (dBm)	-80	-40	-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.

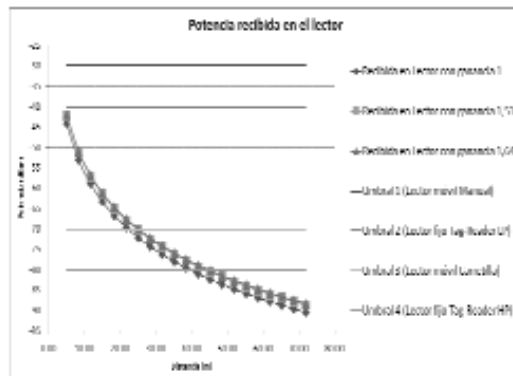


Fig. 10. Comparativa de Sensibilidad y distancia de lectura o posible detección.

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.

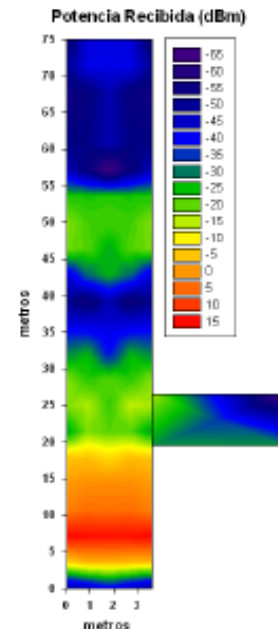


Fig. 11. Potencia recibida en el pasillo calculada con trazado de rayos

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] Jose Maria Hernandez Rabanos, *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 III. Hojas de especificaciones del material de medida utilizado

### Analizador de espectros

#### 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 8508A cable trimming application





## 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 kHz
Speed	750 ms (span: 20 MHz) RBW: 3 kHz, VBW: 3 kHz, 1 second full span (6 GHz)
DANL	-148 dBm
Phase noise	-88 dBc @ 10 kHz
TOI	-96 dBc, +18 dBm
Internal storage	Minimum 16 MB, up to 1000 traces
External storage	1 x mini SD slot and 2 x USB 2.0
Connectivity	2 x USB 2.0, 1 x mini USB, 1 x LAN
Display	Bright 6.5" color anti-glare LCD
Environmental	Meets MIL-PRF-28800F Class 2 specification
Temperature	Operating: -10 °C to +55 °C, Non-operating: -51 °C to +71 °C
Internal battery	Lithium Ion, 4 hours operating time. Replace easily in the field without tools.
Dimensions	11.5" X 7.4" X 2.8" (292 mm X 188 mm X 72 mm)
Weight	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
- Quick Reference Guide
- Soft carrying case
- User manual
- Battery

### 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  
 5990-3344EN

### 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 transit 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 (-148 dBm) in the spectrum analyzer mode; 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

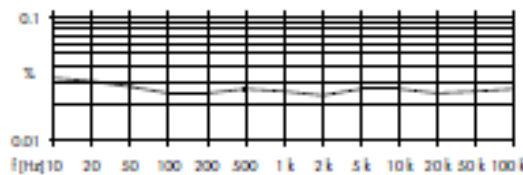
#### Recommended service options

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/removeandout](http://www.agilent.com/find/removeandout)





<b>Phase modulation</b>	
Mode	internal, external AC
Maximum deviation for carrier frequency	
<65 MHz	200 rad
65 to 130 MHz	25 rad
130 to 260 MHz	50 rad
260 to 520 MHz	100 rad
520 to 1040 MHz	200 rad
1040 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 at AF – 1 kHz and half the maximum deviation	<0.5% (typ. 0.2%)
Modulation frequency response	
Bandwidth	
20 Hz to 20 kHz	<3 dB (typ. 1 dB)
Modulation input	FM/AM EXT
Input impedance	100 k $\Omega$ ; 600 $\Omega$ jumper-selected
Input voltage for selected deviation	1 V (peak) (for inaccuracy >3%: high/low indication)
<b>Pulse modulation</b>	standard    option SMY-840
Mode	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
Input level, option SMY-840	TTL/HC logic signal, RF ON at high, RF ON at low jumper-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 $\times 10^{-6}$
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% ( $R_{in}$ <10 $\Omega$ , $R_L$ >200 $\Omega$ )
Frequency setting time	<10 ms (after receiving last IEC/IEEE bus character)
<b>RF sweep</b>	digital sweep in discrete steps
Mode	automatic, linear
Sweep range and step width	user-selected
Step duration	10 ms to 5 s
Resolution	1 ms
<b>Memory</b>	non-volatile, for 100 instrument setups

<b>Remote control</b>	
System	IEC 625 (IEEE 488)
Connector	Amphenol, 24-contact
IEC/IEEE bus address	0 to 30
Interface functions	SH1/AH1/T6/L4/SR1/RL1/PP0/DC1/D10/CO

**General data**

<b>Temperature range</b>	
Guaranteed specs	0 to 55 °C; complying with IEC68-2-1 and IEC68-2-2
Storage temperature	-40 to +70 °C

<b>Climatic conditions</b>	
Humidity	95% relative humidity at +40 °C; complying with IEC68-2-3

<b>Mechanical resistance</b>	
Sinewave vibration	5 to 150 Hz, max. 2 g at 55 Hz, max. 0.5 g in range 55 to 150 Hz, complying with IEC68-2-6, IEC1010-1 and MIL-288000, class 5

<b>Electromagnetic compatibility</b>	
RF leakage	complying with EN50081-1 and EN50082-1 (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 EN61010-1
---------------	--------------------------

<b>Dimensions (W x H x D)</b>	
SMY01	435 mm x 147 mm x 350 mm
SMY02	435 mm x 147 mm x 460 mm

<b>Weight</b>	12 kg (SMY01), 13 kg (SMY02)
---------------	------------------------------


**Ordering information**

<b>Signal Generator</b>	SMY01    1062.5502.11	SMY02    1062.5502.12
<b>Accessories supplied</b>	power card, operating manual	
<b>Options</b>		
Reference Oscillator OCXO	SMY-81	1062.7505.02
Rear-Panel Connectors for RF and NF	SMY-810	1062.8001.02
Pulse Modulator and High Output Power <sup>1)</sup>	SMY-840	1062.9008.02
<b>Recommended extras</b>		
19" Rack Adaptor	ZZA-93	0396.4892.00
Service Kit	SMY22	1062.7805.02
Service Manual		1062.5583.24

<sup>1)</sup> Valid for levels  $\geq$ -127 dBm ( $\geq$ -121 dBm with option SMY-840), not with special function *non-interrupting level settings*.  
<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-840). A status message appears if the modulation depth is too high.  
<sup>3)</sup> Does not apply to special function *AWC – 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.

## Antena de panel

**AN480**  
**High-Performance Worldwide  
 Indoor Wide Band Antenna\***



<b>Physical Characteristics</b>	
Dimensions:	Without mounting screws: 10.2 in. L x 10.2 in. W x 1.32 in. D 25.91 cm L x 25.91 cm W x 3.35 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
<b>User Environment</b>	
Frequency:	865-956 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

## Antena de un cuarto de longitud de onda



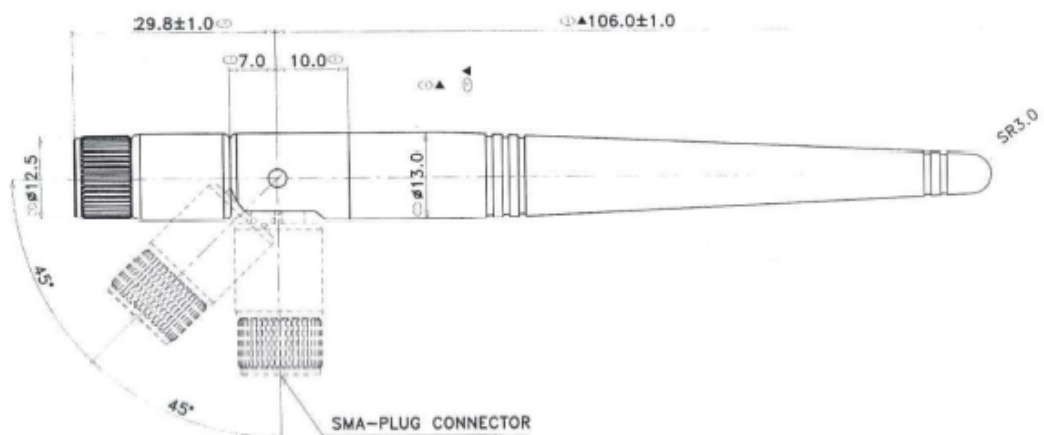
# FLEXI-SMA90-868

- 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



# ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS

## FIGURAS

Figura 1.1. Esquema de la trazabilidad del medicamento, desde su fabricación hasta su llegada a farmacia .....	7
Figura 1.2. Recomendación a la hora de colocar el tag en un medicamento líquido .....	8
Figura 1.3. Recomendación a la hora de colocar el tag en un medicamento líquido .....	8
Figura 1.4. El VeriChip y sus características .....	11
Figura 1.5. Ejemplo de implantación del VeriChip .....	11
Figura 1.6. Sistema Mobitel.....	12
Figura 2.1. Sistema general de comunicaciones .....	13
Figura 2.2. Transformación de la señal en las diferentes fases de transmisión .....	13
Figura 2.3. Sistema de comunicaciones no guiado .....	14
Figura 2.4. Elementos de una onda electromagnética.....	15
Figura 2.5. Campos de una onda electromagnética.....	16
Figura 2.6. Tipos de propagación por ondas.....	17
Figura 2.7. Región de Fraunhofer .....	20
Figura 2.8. Esquema de transmisión multitrayecto .....	21
Figura 2.9. Ley de Fresnel.....	22
Figura 2.10. Reflexión según el tipo de polarización del campo eléctrico.....	22
Figura 2.11. Difracción .....	24
Figura 2.12. Tipos de difracción.....	25
Figura 2.13. Difracción de tipo filo de cuchillo.....	26
Figura 2.14. Curva de pérdida por difracción del tipo filo de cuchillo.....	26
Figura 2.15. Difracción en un objeto redondeado .....	28
Figura 2.16. Difracción en dos objetos aislados.....	28
Figura 2.17. Método EMP.....	29

Figura 2.18. Método Epstein-Peterson .....	30
Figura 2.19. Difracción en múltiples obstáculos .....	30
Figura 2.20. Zonas de Fresnel .....	31
Figura 2.21. Zonas constructivas/destructivas de Fresnel .....	32
Figura 2.22. Desvanecimiento .....	33
Figura 2.23. Parámetros del desvanecimiento.....	34
Figura 2.23. Curva distribución Rice/Rayleigh .....	35
Figura 2.24. Etiquetas RFID activas y pasivas.....	45
Figura 2.26. Tags RFID, a la izquierda con antena inductiva y a la derecha con antena dipolar.....	49
Figura 2.27. Diferentes formatos de etiquetas RFID .....	56
Figura 2.28. Tarjeta transporte que se utiliza en el servicio público de transportes de Pamplona que emplea la tecnología RFID .....	56
Figura 2.29. Esquema de un lector RFID .....	57
Figura 2.30. Antenas de baja frecuencia.....	60
Figura 2.31. Lector RFID fijo .....	62
Figura 2.32. Lector RFID móvil.....	62
Figura 2.33. Impresora RFID PM4i de Intermec.....	64
Figura 2.34. Ejemplo de código de barras.....	74
Figura 2.35. Ejemplo de código de barras 2-D .....	75
Figura 2.36. Ejemplo de código matricial.....	75
Figura 2.37. Ejemplo de memoria de botón .....	76
Figura 2.38. Ejemplo de lectores para memorias de botón .....	76
Figura 2.39. Esquema del funcionamiento de la tecnología SAW .....	77
Figura 2.40. Mu-chip de Hitachi .....	79
Figura 2.41. Ejemplo de pago mediante la tecnología NFC.....	81
Figura 3.1. Antena de panel conectada al generador lista para transmitir en el pasillo de los Tejos .....	84
Figura 3.2. Antena de panel .....	84
Figura 3.3. Antena de un cuarto de longitud de onda .....	85
Figura 3.4. Analizador portátil de Agilent .....	86

Figura 3.5. Generador de señal Rohde & Schwarz modelo SMY02 .....	87
Figura 3.6. Leica GST20-9 Wooden Telescopic Tripod .....	87
Figura 4.1. Pasillo del primer piso del edificio de los Tejos .....	89
Figura 4.2. Esquema del pasillo donde se indican los puntos de medida .....	90
Figura 4.3. Resultados experimentales y empíricos en la zona central del pasillo.....	91
Figura 4.4. Resultados experimentales y empíricos entre el centro del pasillo y la pared .....	92
Figura 4.5. Resultados experimentales y empíricos en la zona en la pared del pasillo.....	92
Figura 4.6. Detalle del espacio denominado “huevo de las ventanas” .....	93
Figura 4.7. Comparativa de potencia recibida en la zona más cercana del hueco de las ventanas .....	93
Figura 4.8. Comparativa de potencia recibida en la zona más alejada del hueco de las ventanas .....	94
Figura 4.9. Mapa de cobertura del pasillo .....	95
Figura 4.10. Comparativa de la potencia recibida en el lector con el coeficiente de reflexión del tag a 0’5 con éste en recipientes de distinto material.....	96
Figura 4.11. Resultados obtenidos con diferentes coeficientes de reflexión con el tag en caja de metal.....	97
Figura 4.12. Resultados obtenidos con diferentes coeficientes de reflexión con el tag en botella de cristal con agua.....	97
Figura 4.13. Resultados obtenidos con diferentes secciones radar con el tag en caja de metal.....	98
Figura 4.14. Resultados obtenidos con diferentes secciones radar con el tag en caja de metal .....	99
Figura 4.15. Comparativa de la potencia recibida en el lector con la sección radar del tag Moon maximum measured mean con éste en recipientes de distinto material.....	99
Figura 4.16. Imágenes del laboratorio de radiocomunicaciones.....	100
Figura 4.17. Planta del laboratorio de radiocomunicaciones en la que se muestran los puntos de medida .....	100



Figura 4.18. Comparativa de potencia recibida en la zona central del laboratorio .....	101
Figura 4.19. Comparativa de potencia recibida en la zona de las ventanas del laboratorio .....	101
Figura 4.20. Vista de la galería en la que se realizaron las medidas .....	102
Figura 4.21. Resultados de la potencia recibida en las galerías utilizando medidas experimentales y modelos de propagación.....	103
Figura 4.22. Trazado de rayos en las galerías .....	103
Figura 4.23. Resultados de la potencia recibida en las galerías utilizando medidas experimentales y trazado de rayos .....	104

## TABLAS

Tabla 2.1. Valores medios de los factores de pérdida según la categoría del muro .....	40
Tabla 2.2. Principales características de los modos de propagación .....	49
Tabla 2.3. Características de las etiquetas activas frente a las de las etiquetas pasivas .....	51
Tabla 2.4. Protocolos EPCGlobal para RFID.....	54
Tabla 2.5. Comparativa de las características asociadas a cada rango de frecuencia .....	72
Tabla 4.1. Valores típicos de sensibilidad para diferentes tipos de lectores ..	94
Tabla 4.2. Secciones radar y sus correspondientes ganancias en el tag .....	98

## BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

- [1] Jose María Hernando Rábanos, *Transmisión por radio*, Editorial Universitaria Ramon Areces, 2008.
- [2] Klaus Finkenzeller, *RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification*, Editorial John Wiley, 2004
- [3] Radio Link Budgets for UHF RFID on Multipath Environments  
Antonio Lázaro, *Member, IEEE*, David Girbau, *Member, IEEE*, and David Salinas
- [4] Kenneth R. Foster & Jan Jaeger *RFID inside, the murky ethics of implanted chips*
- [5] IMPROVING TELEMONTORING OF HEART FAILURE PATIENTS WITH NFC TECHNOLOGY, by J. Morak, A. Kollmann, D. Hayn, P. Kastner, G. Humer, G. Schreier Austrian Research Centers GmbH - eHealth systems Austrian Research Centers GmbH – Information technology/Softwaresystems
- [6] Security and Privacy in RFID and Applications in Telemedicine, by *Yang Xiao, University of Memphis; Xuemin Shen, University of Waterloo Bo Sun, Lamar University; Lin Cai, University of Waterloo*
- [7] LEVERAGING RFID IN HOSPITALS: PATIENT LIFE CYCLE AND MOBILITY PERSPECTIVES, by Andrea Cangialosi and Joseph E. Monaly, Jr., California Institute of Technology Samuel C. Yang, California State University
- [8] “Propagation Prediction Models,” COST 231 Final Rep., ch.4, pp. 17–21. 1996
- [9] R.S. Saunders. *Antennas and Propagation for Wireless Communication System*. Ed.Wiley, 1999
- [10] ANDELMAN, D, “5GHz WLAN Indoor Coverage Range: Truths and Misconceptions”, (2004)
- [11] Nicola Cranley. “Model for Wireless Lan Transmitter Location for Optimal Performance”. 2004. Documentación en formato electrónico.
- [12] <http://www.home.agilent.com/agilent/product.jsp?cc=ES&lc=spa&nid=->
- [13] <http://www.rfsolutions.co.uk/acatalog/Antenna.html>
- [14] <http://www.motorola.com/business/v/index.jsp?vnextoid=ea2b3acf35e95110VgnVCM1000008406b00aRCRD>

- [15] [http://www.valuetronics.com/Used\\_Rohde\\_and\\_Schwarz\\_SMY02.aspx](http://www.valuetronics.com/Used_Rohde_and_Schwarz_SMY02.aspx)
- [16] <http://www.surveyequipment.com/accessories/tripods/wooden/leica-gst20-9-wooden-telescopic-tripod-without-pouch>
- [17] Especificación de UMTS ETSI TR-101-112 ch. B.1.8
- [18] *Digital Mobile Radio Towards Future Generation System, COST-231 FINAL REPORT, Chapter 4, 4.7 Indoor Propagation Models.*
- [19] A Wireless Sensor System for Prognostics and Health Management Shunfeng Cheng, *Student Member, IEEE*, KwokTom, *Member, IEEE*, Larry Thomas, and Michael Pecht, *Fellow, IEEE*
- [20] Congestion-Aware, Loss-Resilient Bio-Monitoring Sensor Networking for Mobile Health Applications, by Fei Hu, Yang Xiao, *Senior Member, IEEE*, and Qi Hao, *Member, IEEE*
- [21] Introducción de RFID en la Industria farmacéutica 03/03/2006, *Jorge Alberto Morales*

## LISTA DE ACRÓNIMOS

ADN	Ácido Desoxirribonucleico
AF	Alta Frecuencia
ASIC	Application Specific Integrated Circuit
ASK	Amplitude Shift Keying
CRC	Cyclic Redundancy Check
EAS	Electronic Article Surveillance
ECMA	European Computer Manufacturers Association
EEPROM	Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory
EM	Electromagnética
EPC	Electronic Product Code
ERP	Enterprise Resource Planning
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FDA	Food and Drug Administration
FRAM	Ferromagnetic Random Access Memory
FSK	Frequency Shift Keying
GPRS	General Packet Radio Service
HF	High Frequency
IBM	International Business Machines
ISO	International Organization for Standardization
IT	Information Technologies
ITU-R	International Telecommunications Union Radiocommunications sector
LED	Light Emitting Diode
LF	Low Frequency
LRC	Longitudinal Redundancy Check
NFC	Near Field Communications
PC	Personal Computer
PDC	Precision Dynamics Corporation
PDF	Portable Data File
PSK	Phase Shift Keying
PVC	Potential Volume Change
RAM	Random Access Memory
RF	Radio Frequency
RFID	Radio Frequency Identification
ROM	Read-Only Memory
RTLS	Real Time Locating System
SAP	Systeme, Anwendungen und Produkte
SAW	Surface Acoustic Waves
SMA	Sub Miniatura versión A
SRAM	Static Random Access Memory
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol
UE	Unión Europea

UHF	Ultra High Frequency
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
UPC/EAN	Uniform Product Code/European Article Numering
UWB	Ultra Wide Band
WiFi	Wireless Fideless Fidelity
WLAN	Wireless Local Area Network
WRC	World Radiocommunication Conference