

Sistemas Informáticos



UNIVERSIDAD COMPLUTENSE MADRID

Curso 2017 – 2018

Sistema de Identificación por Radiofrecuencia para Competiciones Deportivas

Realizado por:

ALEJANDRO DONAIRE BALLESTEROS
RAYNER TAN LUC

Dirigido por:

GUILLERMO BOTELLA JUAN
ALBERTO A. DEL BARRIO

AUTORIZACIÓN PARA LA DIFUSIÓN DEL TRABAJO FIN DE GRADO Y SU DEPÓSITO EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL E-PRINTS COMPLUTENSE

Los abajo firmantes, alumno/s y tutor/es del Trabajo Fin de Grado (TFG) en el Grado en de la Facultad de, autorizan a la Universidad Complutense de Madrid (UCM) a difundir y utilizar con fines académicos, no comerciales y mencionando expresamente a su autor el Trabajo Fin de Grado (TF) cuyos datos se detallan a continuación. Así mismo autorizan a la Universidad Complutense de Madrid a que sea depositado en acceso abierto en el repositorio institucional con el objeto de incrementar la difusión, uso e impacto del TFG en Internet y garantizar su preservación y acceso a largo plazo.

Periodo de embargo (opcional):

- 6 meses
- 12meses

TÍTULO del TFG:

.....

Curso académico: 20..... / 20.....

Nombre del Alumno/s:

.....

.....

Tutor/es del TFG y departamento al que pertenece:

.....

.....

.....

Firma del alumno/s

Firma del tutor/es

Agradecimientos

Alejandro Donaire Ballesteros:

1. En primer lugar quiero agradecer a toda mi familia la paciencia que han tenido conmigo a lo largo del desarrollo de este proyecto.
 - a. En concreto a mi cuñada, árbitro y juez de la *Real Federación Española de Patinaje*, por proponerme la idea y darme los contactos necesarios para llevarla a cabo.
2. En segundo lugar quiero agradecer al organismo de la Universidad Complutense de Madrid por brindarme la oportunidad y los medios necesarios para realizar este proyecto:
 - a. A mis profesores y tutores de este trabajo de fin de grado, **Alberto del Barrio García** y **Guillermo Botella**, por confiar en nosotros y en el proyecto propuesto, por los consejos otorgados y su ayuda indispensable a la hora de conseguir los materiales necesarios.
 - b. Al resto del personal de la facultad de informática de la Universidad Complutense de Madrid.
3. En tercer lugar a mi compañero Rayner Tan Luc, por su confianza depositada en mí y su ayuda en la realización de este proyecto.
4. En cuarto y último lugar quiero hacer una mención especial a la *Real Federación Española de Patinaje* y por extensión a su vicepresidente y director de patinaje de velocidad **Jesús Cordero Cobo**, y a la secretaria general de la *Federación Madrileña de Patinaje* **Paz Granados Piñán**. Estas personas nos han facilitado todo el material que se les ha solicitado y desde el primer día se volcaron con nosotros para llevar el proyecto a cabo.

Rayner Tan Luc:

1. En primer lugar quiero agradecer a toda mi familia por apoyarme, entenderme y tener paciencia infinita durante todo el desarrollo de este proyecto, especial hincapié en mi novia **Paula Sánchez Marqués** por estar ahí todo el tiempo e incluso ayudándome a redactar mejor.
2. En segundo lugar quiero agradecer a nuestros tutores **Alberto del Barrio García** y **Guillermo Botella**, por confiar en nosotros, por la ayuda que nos han prestado principalmente dándonos consejos y ayudándonos en la obtención de los materiales necesarios para el desarrollo del proyecto.
3. En tercer lugar a la asociación **ASCII** por habernos dado apoyo, consejos y prestarnos materiales durante el proyecto.
4. En último lugar y el más importante a mi compañero **Alejandro Donaire Ballesteros** por:
 - a. Para empezar, confiar en mí y ofrecerme hacer este TFG con él.
 - b. Ayudarme y aconsejarme en los momentos de duda.
 - c. El apoyo y entendimiento en los momentos en los que no he tenido tiempo.

Índice

1. RESUMEN	8
1.1 RESUMEN	8
1.2 PALABRAS CLAVE	8
2. ABSTRACT	9
2.1 ABSTRACT	9
2.2 KEY WORDS	9
3. CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	10
3.1 MOTIVACIÓN	10
3.2 OBJETIVOS	10
3.3 ESTRUCTURA	11
4. CAPÍTULO II: EL ARTE Y LOS MATERIALES	13
4.1 ESTADO DEL ARTE	13
4.1.1 <i>La tecnología RFID</i>	13
4.1.2 <i>Antecedentes históricos</i>	20
4.1.3 <i>Situación actual: usos, virtudes y faltas</i>	23
4.2 SISTEMA PROTOTIPO: ENTENDIENDO LA TECNOLOGÍA.....	32
4.2.1 <i>Etiqueta/Tag</i>	33
4.2.2 <i>Lector & Antena</i>	33
4.2.3 <i>Arduino</i>	34
4.2.4 <i>Diseño</i>	35
4.2.5 <i>Pruebas & Resultados</i>	35
4.3 SISTEMA EXPERIMENTAL: MATERIALES UTILIZADOS	43
4.3.1 <i>Etiqueta/Tag</i>	43
4.3.2 <i>Lector/Reader</i>	45
4.3.3 <i>Antena</i>	46
4.3.4 <i>Conectores</i>	47
5. CAPÍTULO III: VIABILIDAD Y REQUISITOS	49
5.1 LÍMITES FÍSICOS DE LA TECNOLOGÍA.....	49
5.1.1 <i>Límites físicos en etiquetas</i>	49
5.1.2 <i>Límites físicos en antenas</i>	50
5.1.3 <i>Límites físicos en lectores</i>	51
5.1.4 <i>Otras limitaciones físicas generales</i>	51
5.2 RESTRICCIONES DEL REGLAMENTO	52
5.3 ANÁLISIS DE VIABILIDAD EN COMPETICIONES DEPORTIVAS	53
6. CAPÍTULO IV: DISEÑO	55
6.1 CASOS DE USO	55
6.1.1 <i>Diagrama de casos de uso</i>	55
6.1.2 <i>Caso de uso: Registrar</i>	56
6.1.3 <i>Caso de uso: Carrera</i>	57
6.1.4 <i>Caso de uso: Descalificación</i>	59
6.2 DIAGRAMAS DE SECUENCIA	60
6.2.1 <i>Secuencia de reposo</i>	60
6.2.2 <i>Secuencia de registro</i>	60
6.2.3 <i>Secuencia de carrera</i>	61
6.2.4 <i>Secuencia de descalificación</i>	62
6.3 DISEÑO DEL SISTEMA EXPERIMENTAL	63

7. CAPÍTULO V: PRUEBAS Y RESULTADOS	66
7.1 EXPERIMENTO 1.....	66
7.1.1 Requisitos previos.....	66
7.1.2 Objetivo	66
7.1.3 Descripción	66
7.1.4 Resultados	67
7.2 EXPERIMENTO 2.....	73
7.2.1 Requisitos previos.....	73
7.2.2 Objetivo	73
7.2.3 Descripción	73
7.2.4 Resultados	74
7.3 EXPERIMENTO 3.....	77
7.3.1 Requisitos previos.....	77
7.3.2 Objetivo	77
7.3.3 Descripción	77
7.3.4 Resultados	78
8. CAPÍTULO VI: CONCLUSIÓN Y DISCUSIÓN	83
8.1 CONCLUSIÓN	83
8.2 DISCUSIÓN.....	84
9. BIBLIOGRAFÍA	89
10. ANEXOS	94
10.1 ANEXO 1: IMPINJ R220 SPEEDWAY-R	94
10.1.1 Guía de instalación & operaciones.....	94
10.1.2 Datasheet Speedway family.....	94
10.1.3 Supported regions and geographies.....	94
10.2 ANEXO 2: ANTENA PAS69278P-30D43F.....	94
10.2.1 Datasheet PAS69278P.....	94
10.2.2 Frecuencias en antenas	94
10.3 ANEXO 3: ETIQUETAS.....	95
10.3.1 Datasheet WRL 14147.....	95
10.4 ANEXO 4: CONECTORES.....	95
10.4.1 Datasheet adaptador coaxial 4-3 10 Macho a Hembra N 6GHz	95
10.4.2 Datasheet adaptador coaxial RP-TNC a N Macho.....	96
10.5 ANEXO 5: REGLAMENTO PATINAJE EN LÍNEA	96
10.6 ANEXO 6: M6E NANO RFID READER	96
10.6.1 Datasheet M6E Nano	96
10.6.2 Product Page	96
10.6.3 Simultaneous RFID Tag Reader Hookup Guide.....	96
10.6.4 GitHub Arduino Library.....	96
10.6.5 GitHub Design Files.....	96
10.7 ANEXO 7: ARDUINO UNO R3	96
10.7.1 Arduino IDE.....	96
10.7.2 Product & Information	96
11. GLOSARIO	97

1. RESUMEN

1.1 RESUMEN

Este documento explica el análisis, creación, implementación y uso del proyecto de fin de grado, desarrollado dentro del grupo de investigación ACYA (Arquitectura de Computadores y Automática) de la Facultad de Informática de la Universidad Complutense de Madrid.

El proyecto consiste en el análisis y estudio de la tecnología conocida como RFID (Identificación por radiofrecuencia) y su uso e implantación para competiciones deportivas. El proyecto se divide en tres pilares fundamentales: el estudio de los límites y utilidades de la tecnología, su aplicación en competiciones deportivas y la implementación de un sistema prototipo.

Estudio de la tecnología: en la actualidad, esta tecnología no se usa en competiciones deportivas de manera oficial. Buscamos identificar los antecedentes históricos de esta tecnología, que se está utilizando en su lugar y por qué. Estudiaremos la viabilidad de la tecnología desde un punto de vista físico, práctico y de sus capacidades y límites.

Aplicación en competiciones deportivas: se propone estudiar la tecnología para su aplicación de manera general en competiciones deportivas y de manera concreta, en colaboración con la *Real Federación de Patinaje de España*, en el estilo "Patinaje en línea". Esta implementación debe cumplir con las regulaciones establecidas en los reglamentos de la competición en cuestión.

Implementación de un sistema prototipo: en el caso de que la tecnología cumpla con los requisitos mínimos para su uso en la competición deportiva concreta, se planteará un protocolo, métodos y equipo necesario para realizar un modelo estándar. En caso contrario y las limitaciones de la tecnología entren en conflicto con las regulaciones de la competición deportiva en cuestión, se plantearán cambios en el propio reglamento para cumplir con los mínimos necesarios para su uso o se especificarán los cambios necesarios en la tecnología para cumplir con los requisitos establecidos.

Para el estudio, se dispondrá de los materiales necesarios que incluyen un sistema de identificación por radiofrecuencia estándar: lector RFID, antena, tags, cables de conexión y software necesario.

1.2 PALABRAS CLAVE

RFID, tag, reader, antena, RFEP, Internet of Things, IOT, POE, barcode, electronic product code, EPC, tag identifier, kill feature, *Truly Unique Id*, *shield*

2. ABSTRACT

2.1 ABSTRACT

This document explains the analysis, creation, implementation and use of the end-of-degree project, developed within the research group ACYA (Computer Architecture and Automation) on the school of Computer Science at the Complutense University in Madrid.

The project consists in the analysis and study of the technology known as RFID (Radio Frequency Identification) and its use and implementation in sports competitions. The project is divided into three fundamental pillars: the study of the limits and utilities of technology, its application in sports competitions and the implementation of a prototype system.

Study of the technology: as of today, this technology is not used in official sports competitions. We seek to identify the historical background of this technology, which are being used in its place and why. We will study the feasibility of this technology from a physical and practical point of view, and its capabilities and limits.

Application in sports competitions: we will study the technology for its application in a general way in sports competitions and in a particular way in the style "*Inline Skating*". This implementation must comply with the regulations established and the rules of the competition in question.

Prototype Implementation: in the event that the technology meets the minimum requirements to use in the specific sports competition, a protocol, methods and equipment necessary to make a standard model will be considered. Otherwise, if the limitations of the technology conflict with the regulations of the sports competition in question, changes in the regulation itself will be proposed to meet the minimum requirements for its use or the necessary changes in technology will be specified to comply with the established requirements.

For the study, the necessary materials that include a standard radio-frequency identification system will be available: RFID reader, antenna, tags, connection cables and the necessary software.

2.2 KEY WORDS

RFID, tag, reader, antena, RFEP, Internet of Things, IOT, POE, barcode, electronic product code, EPC, tag identifier, kill feature, *Truly Unique Id*, *shield*

3. CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

3.1 MOTIVACIÓN

En el siglo XXI, el crecimiento y la inmersión de las nuevas tecnologías en actividades deportivas es innegable^{XI}. En los últimos años se han ido estudiando maneras de interrelacionar ambas, sin un límite a la vista. Se percibe como un iceberg del que solo se observa la superficie, pero que se va descubriendo de una manera vertiginosa, y nosotros, como ingenieros informáticos, estudiantes y habitantes de la era digital, debemos preocuparnos por descubrir todas aquellas posibilidades que dichas tecnologías nos ofrecen.

El avance en dispositivos portátiles, como smartphones, tablets o smartwatches, han provocado que estos aparatos se conviertan en indispensables cuando hablamos de torneos deportivos, campeonatos o carreras de Fórmula 1, entre otros.

El perfil del aficionado al deporte actual no solo es el de un individuo con perspectivas ociosas. Aquellos deportistas encuentran en el IOT, un abanico de posibilidades para recoger “datos”, que les ayuden a superar su rendimiento y límites físicos. La implementación de sistemas tecnológicos como el V.A.R (Video ARbitraje) en el fútbol, son ejemplos que demuestran que los aficionados y deportistas piden un sistema tecnológico que les ayude a mejorar su rendimiento, mientras que el público, aficionados y organizadores esperan de estos un punto de apoyo que solucione sus disputas, les dé garantías y seguridad.

Sin embargo, no todas las tecnologías sirven para su aplicación en todos los deportes; ni todos los deportes cuentan con los mismos reglamentos y restricciones físicas que permitan el uso de cualquier tecnología.

En este último apartado, encontramos un área de investigación donde podemos estudiar la búsqueda de la tecnología menos intrusiva posible, que aporte agilidad y fiabilidad en aquellas competiciones deportivas que aún no han visto ninguna aportación tecnológica en su ambiente.

Concretamente, como punto de apoyo para este proyecto por cercanía, familiaridad, afición y con la colaboración de la *Real Federación Española de Patinaje*, nos centraremos en estudiar la aplicación de la tecnología de *Identificación por Radio Frecuencia* en competiciones deportivas del estilo *Patinaje en línea*.

3.2 OBJETIVOS

El equipo de realizadores de este documento, junto con los directores de este, el grupo de investigación ACYA y en colaboración con la *Real Federación Española de Patinaje*, pretenden con este proyecto demostrar la validez y utilidad del uso de la

tecnología RFID en competiciones deportivas del estilo *patinaje en línea*. También se persigue el desarrollo de una serie de guías y/o estándares que permitan el uso de dicha tecnología en otras áreas deportivas.

Como introducción a este proyecto, cabe destacar que éste comienza como una prueba de concepto sobre el uso de nuevas tecnologías en competiciones deportivas con poca o nula aportación tecnológica. Por lo tanto, se proponen dos escenarios según si los resultados obtenidos con las pruebas satisfacen la validez de dicha tecnología para las competiciones deportivas del estilo *Patinaje en línea*, o por el contrario no cumplen los requisitos establecidos:

- 1) En el caso de que la prueba de concepto de la aplicación de la tecnología RFID sí satisfaga los requisitos de las competiciones deportivas del estilo *Patinaje en línea*, se propondrán en este documento los métodos específicos para implementar dicho sistema, así como una guía para la replicación de dichos métodos.
- 2) En el caso de que la prueba de concepto de la aplicación de la tecnología RFID no satisfaga los requisitos de las competiciones deportivas del estilo *Patinaje en línea*, se esclarecerán los motivos por los cuales otorgamos la negativa al uso de dicha tecnología en dicho ambiente. A su vez, se tratará de aclarar cuáles serían los requisitos que la tecnología debiese cumplir para satisfacer las restricciones del estilo deportivo en cuestión.

En ambos casos, se discutirán al final del documento áreas de estudio u otras líneas de investigación relacionadas con otros deportes o estilos deportivos donde realizar esta misma prueba de concepto.

El contexto de estos objetivos es el de facilitar y agilizar el conjunto de procesos y actividades que constituyen una competición deportiva del estilo *patinaje en línea*, tanto para los organizadores del evento como para los usuarios.

3.3 ESTRUCTURA

A continuación, se presentan y detallan las diferentes fases del documento en las que se va a dividir en orden lógico.

1. El arte y los materiales

Para comenzar, se propone estudiar y explicar la tecnología de *Identificación por Radio Frecuencia* en todos los aspectos necesarios para su comprensión.

Además de detallar su funcionamiento, se desarrollarán los antecedentes históricos de la tecnología y sus aplicaciones desde su creación, dentro y fuera del ámbito de las competiciones deportivas.

Una vez se haya esclarecido el funcionamiento de un sistema RFID, se detallarán los materiales necesarios que se van a utilizar en este proyecto, su especificación y justificación de elección.

2. Viabilidad y requisitos

A continuación, detallaremos la viabilidad para la prueba de concepto que se desea realizar, con la intención de probar la validez de la tecnología RFID en competiciones deportivas del estilo *patinaje en línea*.

Para ello, se incluirán también los requisitos de dicho estilo deportivo y como la tecnología propuesta asegura una respuesta satisfactoria a dichas restricciones.

3. Diseño

En este apartado, documentaremos la implementación del sistema propuesto para realizar las pruebas, incluyendo y especificando todos los datos y materiales necesarios para reproducir los resultados obtenidos en el apartado siguiente.

4. Pruebas y resultados

Como parte fundamental de este trabajo, expondremos los distintos experimentos que se desean realizar. En el detalle de cada experimento se incluirán los requisitos previos, el objetivo principal, la guía del experimento, su desarrollo y por último se mostrarán los resultados obtenidos con un breve comentario.

5. Conclusión y discusión

Por último, daremos solución a las cuestiones planteadas durante la introducción de este documento, incluyendo si la tecnología cumple con lo esperado y si su aplicación es válida para el estilo deportivo de *patinaje en línea*.

Por último, detallaremos posibles conocimientos nuevos que se hayan adquirido. Se argumentarán futuras implicaciones y usos de esta tecnología en otras competiciones deportivas, así como futuras líneas de investigación posibles.

4. CAPÍTULO II: EL ARTE Y LOS MATERIALES

4.1 ESTADO DEL ARTE

En este apartado, describimos el estado del arte de la tecnología de identificación por radiofrecuencia: describimos la tecnología, sus características, antecedentes históricos y su aplicación actual.

4.1.1 La tecnología RFID



Ilustración 1: icono general RFID
<https://reboundtag.com/>

Un sistema RFID^{IV}, también conocido como *Identificación por radiofrecuencia*, es un sistema de almacenamiento y recuperación de datos remoto capaz de identificar objetos inequívocamente utilizando campos electromagnéticos. Utiliza diferentes periféricos y dispositivos en conjunto con el objetivo de recibir y transmitir la identidad de un objeto o etiqueta mediante el uso de ondas de radio.

Los dispositivos mínimos necesarios^{VI} para establecer un sistema RFID funcional son:

1. Etiqueta o Tag
2. Lector o Reader
3. Antena
4. Equipo gestor (al que llamaremos *Equipo Supervisor* en adelante por conveniencia)



Ilustración 2: sistema RFID

<http://plintec.blogspot.com/2014/07/conozca-mas-acerca-del-funcionamiento-y.html>

El funcionamiento^V básico del sistema sería el siguiente:

- La etiqueta (pasiva, activa o semi-pasiva), permanecería inactiva hasta recibir una señal que la “despertase”.
- Dicha señal se corresponde con el campo electromagnético que estaría emitiendo la antena del sistema de manera constante.
- La etiqueta, al recibir la energía del campo electromagnético, activaría su circuito y respondería generando una señal muy atenuada de su identificador (EPC).
- La antena, recogería dicha señal y la transmitiría al Lector.
- Dicho lector se encarga de decodificar la onda de radio, leer la información recibida y enviarla en formato digital al equipo “supervisor” que gestione el sistema.

A continuación, se describen los distintos dispositivos de manera individual, para entender su utilidad y funcionamiento de manera individual y en conjunto con el resto del sistema.

5.1.1.1 Etiqueta o Tag

Está compuesto por un microchip, una antena y un transductor de radio. La antena permite al chip transmitir la información que este posee en su banco de memoria interno.

Existen varios tipos de etiquetas:

- Tags pasivos: no poseen ningún tipo de alimentación. La señal que les llega de los lectores induce una corriente eléctrica mínima que basta para operar el circuito integrado del tag para generar y transmitir una respuesta. Los tags

pasivos suelen tener distancias de uso práctico comprendidas entre los 10 cm y llegando hasta unos pocos metros. Como carecen de autonomía energética el dispositivo puede resultar muy pequeño, como una etiqueta.

- Uso práctico: pocos metros
 - Medidas pequeñas: 0.05-0.15mm x 0.05-0.15mm
 - Memoria aproximada: 128 - 512 bits
 - Bajo coste: < 0.5€
- Tags activos: poseen su propia fuente autónoma de energía, que utilizan para dar corriente a sus circuitos integrados y propagar su señal al lector. Estos tags son mucho más fiables que los pasivos debido a su capacidad de establecer sesiones con el lector. Gracias a su fuente de energía son capaces de transmitir señales más potentes que las de los tags pasivos, lo que les lleva a ser más eficientes en entornos dificultosos para la radiofrecuencia como el agua o el metal (contenedores, vehículos). También son efectivos a distancias mayores pudiendo generar respuestas claras a partir de recepciones débiles.
 - Uso práctico: largas distancias, generalmente de 10m a 100m
 - Fuente de alimentación propia (batería): 235mAh / 3V hasta 10 años
 - Memoria aproximada: entre 4KB y 32KB
 - Alto coste: 30€-90€
 - Tamaño aproximado: 30mm x 30mm x 20mm
 - Tags semipasivos: los tags semipasivos poseen una fuente de alimentación propia, aunque en este caso se utiliza principalmente para alimentar el microchip y no para transmitir una señal. La energía contenida en la radiofrecuencia se refleja hacia el lector como en un tag pasivo. La batería puede permitir al circuito integrado de la etiqueta estar constantemente alimentado y eliminar la necesidad de diseñar una antena para recoger potencia de una señal entrante. Los tags RFID semipasivos responden más rápidamente, por lo que son más fuertes en el ratio de lectura que los pasivos, tienen una fiabilidad comparable a la de los tags activos y mayor duración, a la vez que pueden mantener el rango operativo de un tag pasivo.

El banco de memoria de una etiqueta RFID suele estar segmentada en cuatro bancos diferentes. Algunos conjuntos de chips tienen diferentes asignaciones de bits repartidos entre los cuatro bancos para permitir más o menos memoria de usuario o un número EPC más largo. Cada chipset es único, pero los mismos principios básicos se aplican a todos.

Banco	Nombre	Descripción
11	USUARIO	R-W Este segmento es 100% modificable por el administrador del sistema. Puede almacenar información, reactiva o proactivamente, en distintos formatos como HEX o ASCI. Suele ser el segmento de mayor tamaño.
10	TID	R El <i>tag identifier</i> es un segmento no modificable. Incluye el número de serie y el número de modelo que la compañía le ha asignado a la etiqueta. Es único e imborrable para cada chip.
01	EPC	R-W El <i>electronic product code</i> , es un código que viene a igualar al “barcode” de un producto. Identifica un producto dentro de un conjunto de iguales.
00	RESERVADO	R-W La zona reservada de memoria es de tamaño variable según el chipset y suele almacenar las contraseñas de activación o desactivación, además del protocolo que use la etiqueta u otra información relevante.

Tabla 1: Segmentos de memoria

5.1.1.2 Antena

Las Antenas RFID son las encargadas de transmitir y recibir las ondas que nos permiten detectar los chips RFID. Cuando un chip RFID cruza el campo de la antena este se activa y emite una señal en respuesta.

Las antenas crean diferentes campos de onda y cubren diferentes distancias. Son el elemento esencial entre el tag y el lector que transmite la potencia y capta la señal de devolución del tag con su código id.

Los factores a tener en cuenta para elegir la antena más adecuada son:

- Rango de frecuencia: tiene que ver con las regulaciones de cada país respecto de la frecuencia permitida para operar. Al escoger una antena, debemos asegurarnos de seleccionar el rango de frecuencias apto para la región/país donde irá instalada (De hecho, también se debe tener en cuenta al elegir el lector, pues también son aptos según regulaciones FCC o EU)^{VII}. Los rangos de frecuencia más comunes para dichas antenas son:
 - 902-928MHz (US)

- 865-868MHz (EU)
- 860-960MHz (Global)
- **Ganancia:** relacionado con la “anchura de haz”, son dos especificaciones de componentes eléctricos de la antena. A mayor ganancia, menor haz de campo electromagnético (o más estrecho). Una ganancia mayor crea un área de cobertura más estrecha, pero el haz “viajará” una distancia más larga, es decir la distancia de lectura será mayor, pero la zona de lectura será más estrecha. La anchura del haz y la ganancia son especificaciones análogas e inversamente proporcionales.^{III}

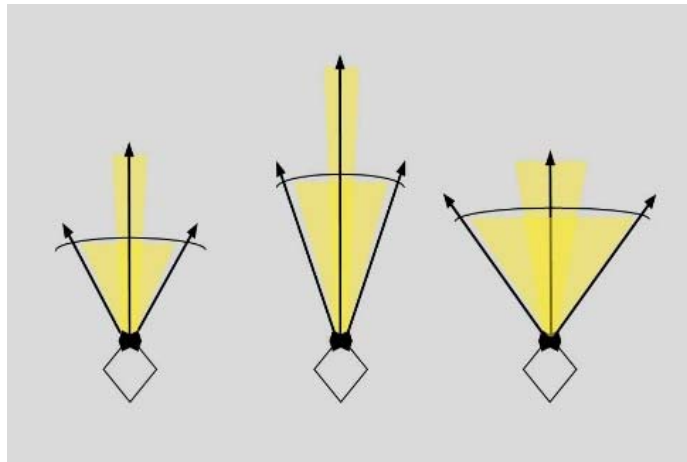


Ilustración 3: Ganancia de antena

https://www.fqingenieria.com/img/noticias/upload/1475046071_Antena-uhf-rfid.jpg

- La elección del tipo de ganancia dependerá de la aplicación específica.
- Si hablamos de varios tags a poca distancia, no se requerirá de una ganancia alta, será más ventajoso un haz abierto. Se considera un haz largo una antena con aproximadamente 9 dB y 65° de apertura horizontal y vertical.
 - Si hablamos de tags a larga distancia, cuanto más estrecho sea el haz, más lejos podrá identificar las etiquetas. Se considera un haz corto una antena con aproximadamente 4 dB y 85° de apertura horizontal y vertical.
- **Polarización:** es una propiedad de las ondas que pueden oscilar con más de una orientación. En concreto para las antenas RFID se reconocen dos tipos fundamentales de polarización: lineal y circular.^I
 - **Lineal:** las antenas con polarización lineal envían las ondas de radio en un mismo plano, ya sea horizontal o vertical. En general, proveen un rango de lectura más extenso, pero son más sensibles a la orientación de la etiqueta. Habitualmente son utilizadas en aplicaciones de lectura automática, pero sobretodo se recomienda que la orientación de la

etiqueta sea constante para maximizar su legibilidad.

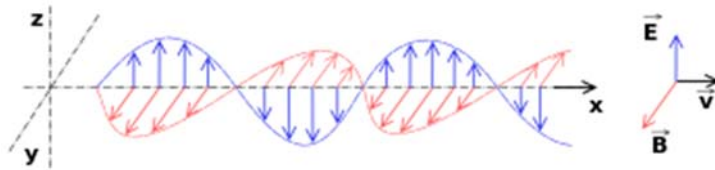


Ilustración 4: Polarización Lineal

<http://e03-el mundo.uecdn.es/assets/multimedia/imagenes/2015/10/06/14441313059038.jpg>

La oscilación del plano perpendicular a la dirección de propagación se produce a lo largo de una línea recta. Se produce cuando ambas componentes del eje (X e Y) están en fase (ángulo nulo de desfase “ $\delta=0$ ”, cuando ambas componentes alcanzan sus máximos y mínimos simultáneamente) o en contrafase (con un ángulo de desfase de 180° “ $\delta=\pi$ ”, cuando una componente está en su máximo y la otra en su mínimo). Una expresión aproximada de un campo lineal sería:

$$\vec{E} = \hat{x}e^{j(\omega t - kz)}$$

Ecuación de campo electromagnético lineal

- o Circular: la polarización circular es creada por una antena diseñada para irradiar energía electromagnética en diferentes direcciones simultáneamente. La antena ofrece mayor tolerancia a distintas orientaciones de la etiqueta y una mejor habilidad para evitar obstáculos para las ondas. Estas virtudes implican la reducción del rango y el foco de lectura. Cabe destacar que, en el caso de utilizar dos antenas cara a cara, ambas antenas deberán usar el mismo tipo de polarización y en el mismo sentido, para que la ganancia sea la más eficiente posible.

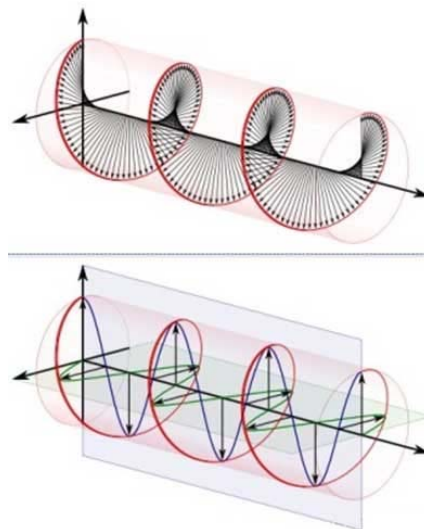


Ilustración 5: Polarización circular

Cuando las dos componentes ortogonales tienen exactamente la misma amplitud y están desfasadas 90°, una componente se anula cuando la otra alcanza su valor máximo o mínimo. Existen dos relaciones posibles que satisfacen esta situación: cuando la componente x está 90° adelantada o cuando está retrasada de la componente Y. El sentido en el que gira la onda (horario o antihorario) depende de cuál de estas dos relaciones se dé. Una expresión aproximada del campo sería:

$$\vec{E} = (\hat{x} + j\hat{y})e^{j(\omega t - kz)}$$

Ecuación de campo electromagnético a izquierdas

$$\vec{E} = (\hat{x} - j\hat{y})e^{j(\omega t - kz)}$$

Ecuación de campo electromagnético a derechas

5.1.1.3 Lector

El lector o *reader*, es el encargado de transmitir y recibir las señales electromagnéticas y convertirlas a un formato digital que pueda ser interpretado por un sistema computacional.

Son los encargados de suministrar energía a las antenas (que pueden llevar incorporados en algunos casos sobre su placa) y leer y escribir los bancos de memoria de las etiquetas que entren en el espacio electromagnético de la antena. El lector se convierte no solo en un comunicador, sino en un separador de estas señales. Su configuración permite manejar las señales en distintas frecuencias, amplitudes y potencias al mismo tiempo.



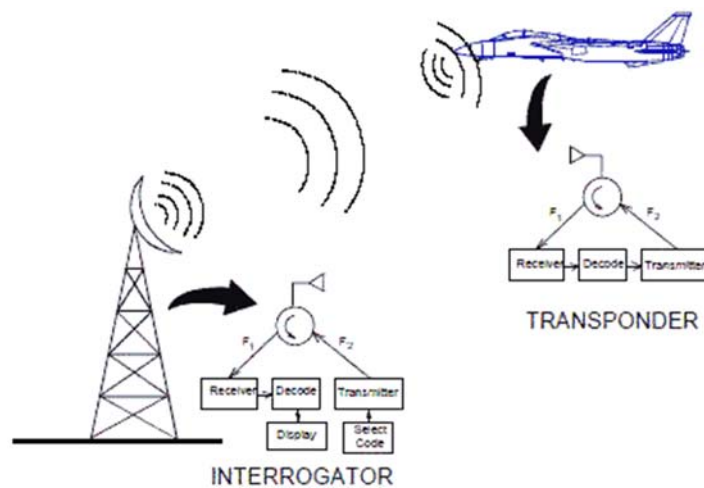
Ilustración 6: Lector RFID

Otra de las funciones más importantes del lector es la de manejar situaciones donde más de una etiqueta responde al mismo tiempo. Esto se conoce como protocolo anticollisión, muy similar al CSMA-CD (Carrier sense multiple access with collision detection) utilizado en redes locales.

4.1.2 Antecedentes históricos

IFF (Identification Friend or Foe, 1936)^{XXXI, XXXII, XXXIII}

Es un sistema que permite la identificación, el rumbo y la distancia de aeronaves, vehículos, y fuerzas militares respecto al sistema que se está empleando. Con toda la información que genera, permite una mejor manera para la toma de decisiones y en el caso militar reduce las posibilidades de un posible fuego amigo.



<http://www.rfcafe.com/references/electrical/ew-radar-handbook/images/imgx1B.gif>

Desarrollado durante la 2ª Guerra Mundial poco después de la implantación del radar en la fuerza aérea. Fue una tecnología necesaria puesto que los radares no tenían capacidad para diferenciar naves aliadas de enemigas.

Predecesor del RFID (1945)^{XXXIV, XXXV}

Se desarrolló un dispositivo de escucha que retransmitía señales de radio con audio, estas señales alteraban el comportamiento del resonador. Se considera el predecesor debido a que funcionaba igual que las etiquetas pasivas, es decir, necesitaba una señal de radio de un dispositivo externo para activar su circuito de transmisión.



Primer RFID (1973)

Antes de explicar qué contenía o cómo funcionaba vamos a proceder a definir el concepto de transpondedor:

Transpondedor: Aparato que emite una señal a una frecuencia determinada cuando lo estimula otra señal externa apropiada.

El primer RFID era un transpondedor con una memoria de 16 bits que podía usar como medio de transmisión radiofrecuencias, sonido y luz. Aunque este tipo de dispositivo no fue bautizado con el nombre RFID hasta el año 1983.

Adopción RFID

El mundo de las competiciones del motor lo adoptó a finales de los años 1980. El mundo de los eventos de atletismo lo adoptó a mediados de los años 1990.

En el año 2005 salieron los nuevos RFID para usos industriales y a partir de entonces pasaron a ser adoptados para diferentes trabajos donde la logística y la monitorización son importantes.

4.1.2.1 Diferencias con NFC^{XXIX, XXX}

Dado que el NFC (Near Field Communication o Comunicación de campo cercano) es la tecnología por radiofrecuencia más popular de los últimos años, se ha visto necesario incluir un apartado con una comparativa entre esta tecnología y la RFID.

Para poder explicar este apartado se procederá primero a exponer la definición y las características de lo que es un NFC. Posteriormente se mostrará una tabla comparativa entre la tecnología RFID y la NFC.



Definición del NFC: tecnología inalámbrica basada en la tecnología RFID de corto alcance que trabaja con la frecuencia de 13,56 MHz.

El método que tiene de comunicación es mediante la inducción de un campo magnético. Para que la comunicación se haga con éxito se precisa que tanto el emisor como el receptor dispongan de una antena en espira (antena que tiene forma de espiral).

Esta tecnología estaba planteada desde un inicio para dispositivos móviles. Actualmente se está usando en las tarjetas de crédito y en los móviles que tengan permitidos realizar pagos.

Características del NFC:

- Corto alcance con una alta frecuencia.
- Tiene dos métodos de funcionamiento:
 - Activo: tanto emisor como receptor generan sus propios campos magnéticos que se utilizan para la retransmisión de datos.
 - Pasivo: uno de los dos dispositivos genera el campo magnético y el otro aprovecha para realizar la transmisión de datos. El iniciador de la comunicación es el que genera el campo magnético. Un ejemplo de esto es: el abono transporte, el TPV (Terminal Punto de Venta, conocido como el aparato para realizar los pagos con la tarjeta de crédito).
- Puede transmitir y recibir información a la vez.
- Velocidades de retransmisión de datos altas (hasta 424 kbits/s máximo permitido por el estándar ISO/IEC 18092).

	RFID	NFC
Requisitos para funcionamiento	<ul style="list-style-type: none"> • Una etiqueta • Una antena • Un lector 	Dos dispositivos (uno emisor y otro receptor).
Frecuencias operativas	125 kHz - 960 MHz	13,56 MHz
Alcances	hasta 100 m	hasta 10 cm
Protocolo de seguridad	Si	No
Lectura múltiple de etiquetas	Si	No
Capacidad de almacenamiento de las etiquetas	16 B - 32 kB	9 B - 4 kB
Usos	Principalmente Logística.	Intercambio de datos y pagos mediante tarjetas de crédito.

Tabla 2: NFC vs RFID

4.1.3 Situación actual: usos, virtudes y faltas

Las etiquetas RFID se pueden adherir a cualquier objeto y pueden tener un montón de aplicaciones. Estas aplicaciones suelen tener un alcance y un coste variado según las frecuencias, tamaños y ambientes en las que trabajan. A continuación, se expondrá diferentes ámbitos donde se utiliza la tecnología RFID:



Ilustración 8: RFID icons

<https://prototyme.com/wp-content/uploads/2017/05/rfid-300x199.png>

Comercio^{XXXVI}

Los RFID sirven para organizar, identificar, inventariar y monitorizar existencias, herramientas y equipamiento, todo esto sin tener que añadir la información de manera manual. En muchos productos manufacturados se aplica esta tecnología para tener un seguimiento de su proceso de creación. Muchas empresas de transporte les solicitan a sus contratantes que pongan una etiqueta RFID para que se pueda aplicar un seguimiento del producto que están transportando.



Ilustración 9: Comercio

<https://www.zetes.com/sites/default/files/inline-images/graph-01.jpg>

Empresas

Aquí los RFID se utilizan para identificar cada producto que disponga la empresa. También ayudan a controlar el inventario y a evitar que los productos sean sustraídos de manera ilícita. Estas etiquetas se pueden quitar con alguna herramienta especial o desactivar posterior pago. Los clientes al salir del espacio de la empresa tienen que pasar detectores de RFID, que ayuda para verificar si el cliente está saliendo con un producto previamente pagado.

Control de acceso^{XXXVII, XXXVIII, XXXIX}

Aquí los RFID se utilizan en las tarjetas de identificación reemplazando a las de banda magnética. La ventaja que tienen es que se pueden identificar a distancia. Estas etiquetas también se pueden poner en los vehículos para permitir el acceso a determinadas áreas sin tener que estacionar el vehículo y presentar una tarjeta o poner un código.



Ilustración 10: Control de acceso

http://actualidad.rt.com/actualidad/public_images/979/979489fc93af444e102c28ba476f5f22_article.png

Anuncio^{XL, XLI, XLII, XLIII}

Varias marcas de coches han aplicado la tecnología RFID para promocionar sus productos.

Transporte y logística^{XLIV, XLV}

Es la aplicación más importante de este sistema. Tanto el transporte por tierra, como por mar y por aire usan los RFID para la monitorización de mercancía. Esto permite tener localizado cualquier producto dentro de la cadena de suministro. Las etiquetas se pueden grabar con información de qué fecha el producto en cuestión fue catalogado.

En los trenes de mercancía sirve para identificar cada vagón y su contenido (propietario, identificador, tipo de equipamiento y características).

En los vuelos comerciales, sirve para identificar las fechas de mantenimiento de cada pieza de la aeronave. También sirven para identificar el cargamento de las aerolíneas en los aeropuertos.

Algunos países implantan los RFID en sus vehículos, esto ayuda a encontrar vehículos que puedan haber sido sustraídos. En otros países, la organización de tráfico implanta los RFID en vehículos privados para ayudar al sistema de tráfico con el fin de intentar reducir los atascos que se puedan generar.

En la industria automovilística, los RFID se usan para monitorizar los procesos o test por los cuales se va desarrollando la creación de un vehículo o los prototipos.

Existe una empresa que ha implantado el uso de RFID para identificar y localizar elementos de su infraestructura (véase: tuberías de cables, agua, gas,...).



Ilustración 11: Logística RFID

http://www.global-tag.com/wp-content/uploads/2016/05/Fibery_1_big-1.jpg

Pasaporte^{XLVI}

Muchos países también han optado por implementar los RFID en sus pasaportes, éstos RFID siguen un estándar definido por el International Civil Aviation Organization (ICAO) que sigue al documento ISO/IEC 14443.



Ilustración 12: Pasaporte RFID

<https://media.istockphoto.com/photos/safety-through-rfid-picture-id179261808>

Transporte público y peajes^{XLVII, XLVIII}

En muchos países, las etiquetas RFID se usan para pagar viajes de bus, metro, trenes e incluso peajes.

Existe una empresa de parking de bicis que tiene candados que funcionan con tarjetas RFID.

En Singapur los RFID han reemplazado los tickets de parking.

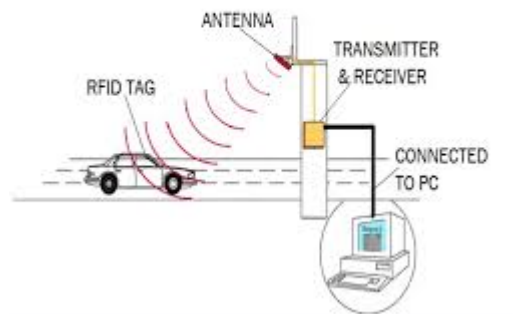


Ilustración 13: RFID en peajes

<https://3.imimg.com/data3/NK/FJ/MY-2672111/rfid-vehicle-identification-system-500x500.gif>

Identificación de animales^{XLIX, L}

Las etiquetas RFID usadas para la identificación de animales es de los primeros usos que ha tenido esta tecnología.

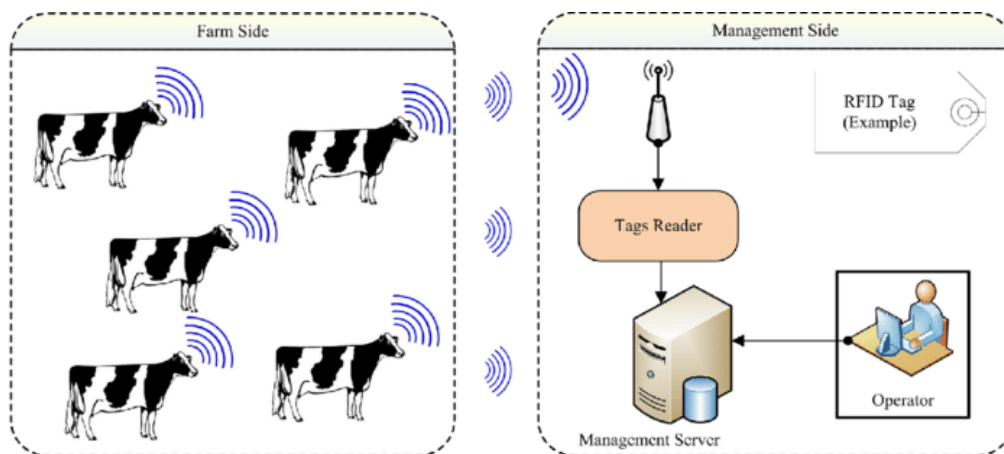


Ilustración 14: Identificación de animales RFID

https://www.researchgate.net/profile/Ali_Awad3/publication/299523774/figure/fig1/AS:613872159432735@1523369936973/The-common-architecture-of-the-RFID-system-for-beef-animal-identification-The-figure.png

Implantación humana^{LI, LII}

Actualmente se está planteando la implantación de este sistema de manera subcutánea.

Este caso ha provocado una gran controversia debido a que podría vulnerar la libertad y la privacidad de la persona. Esto se debe a que el órgano gestor podría monitorizar todo el tiempo la ubicación de sus ciudadanos, además de poder revocar la libertad del individuo.



Ilustración 15: RFID implantado

https://el-libertario.webnode.es/_files/200006385-8e797907ce/N%20Implantes%20ETN%201.JPG

Instituciones

Hospitales^{LII, LIV, LV}

Debido a que los RFID se pueden monitorizar, éstos permiten un mejor y mayor control sobre el equipamiento médico, el historial clínico de un paciente, condiciones climáticas dentro del edificio, proteger a los pacientes, personal y visitantes ante peligros.

Éstos RFID llevan incorporado un buscador software para incrementar su eficiencia, lo que permite ver datos en tiempo real.

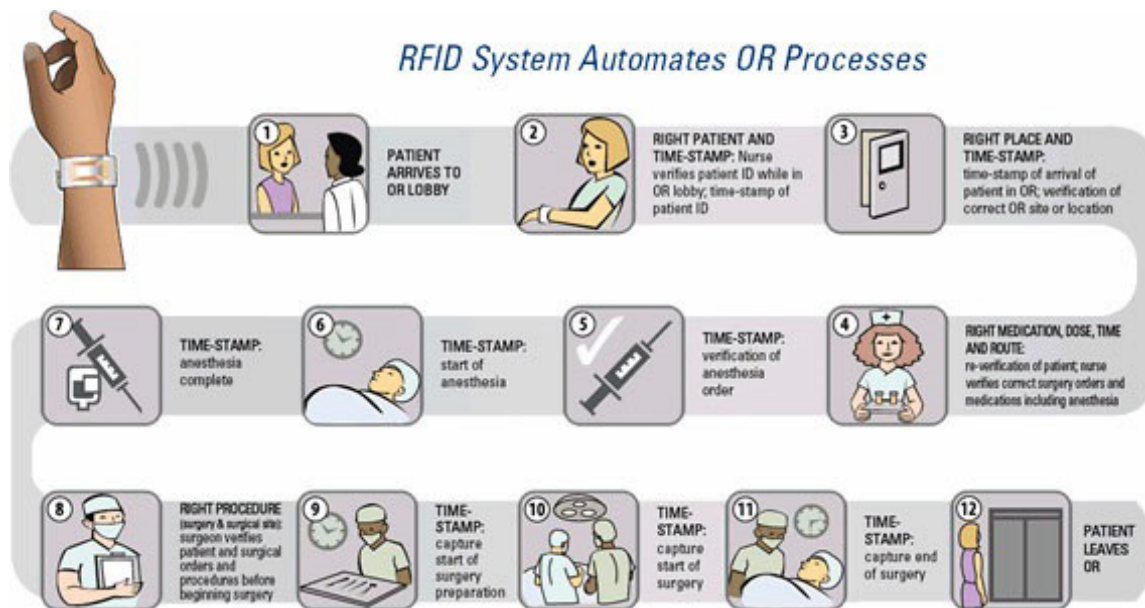


Ilustración 16: RFID System automates or processes
http://www.macroware-it.com/rfid/products/img/med_process.gif

Bibliotecas^{LVI, LVII, LVIII}

Las bibliotecas han adoptado los RFID para reemplazar las barras de código. Un sistema RFID puede ofrecer otros métodos de monitorización de inventario además de poder actuar como elemento de seguridad.

Gracias los RFID se pueden identificar los libros sin necesidad de tener que abrirlos o incluso habiendo otros elementos delante de ellos. Esto también permite identificar los libros en movimiento, lo cual, también reduce el tiempo de revisión del inventario por parte del personal. Además, los usuarios pueden solicitar un alquiler del ejemplar sin necesidad de tener que tramitar la solicitud con algún trabajador.



Ilustración 17: RFID en bibliotecas
https://universoabierto.blog.files.wordpress.com/2016/02/rfid_e01.jpg?w=625

Museos^{LIX, LX}

Un museo ofrece a los visitantes un RFID dentro de una tarjeta, esta tarjeta va almacenando información del recorrido que ha realizado el visitante, toda esta información se puede recoger de una página web en la tarjeta.

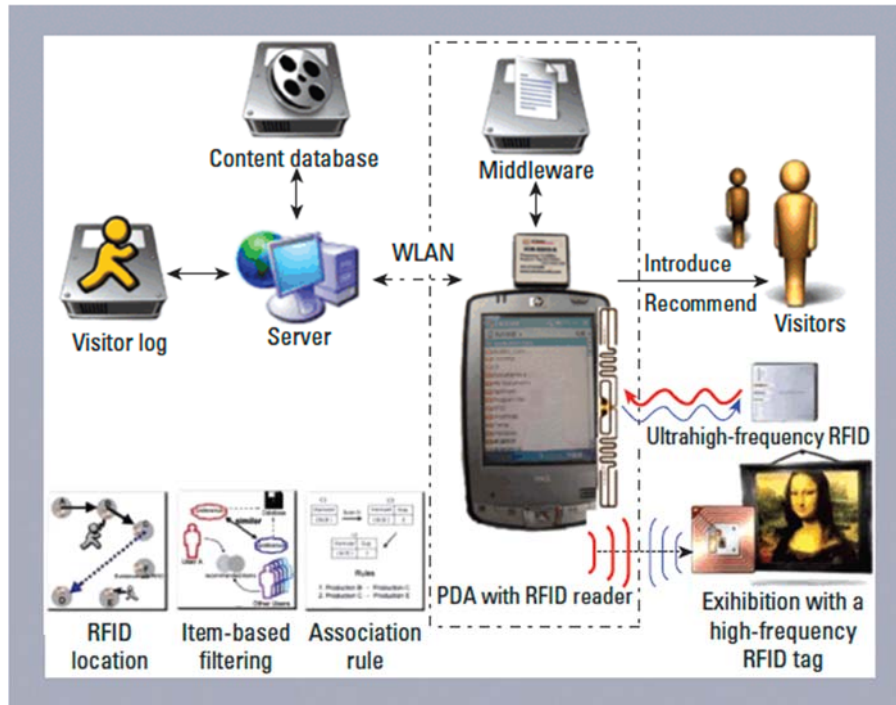


Ilustración 18: RFID en museos

<http://doi.ieeecomputersociety.org/cms/Computer.org/dl/mags/it/2011/02/figures/mit20110200251.gif>

Colegios y Universidades^{LXI, LXII, LXIII, LXIV}

En algunos colegios se implantan chips RFID en la ropa, mochilas y tarjetas identificadores de los alumnos de primaria.

En otros colegios se implantan en los propios uniformes, monitorizando de ésta manera a los alumnos.

En otros usan tarjetas RFID para monitorizar la entrada y salida de la puerta principal para prevenir el acceso de personas ajenas.

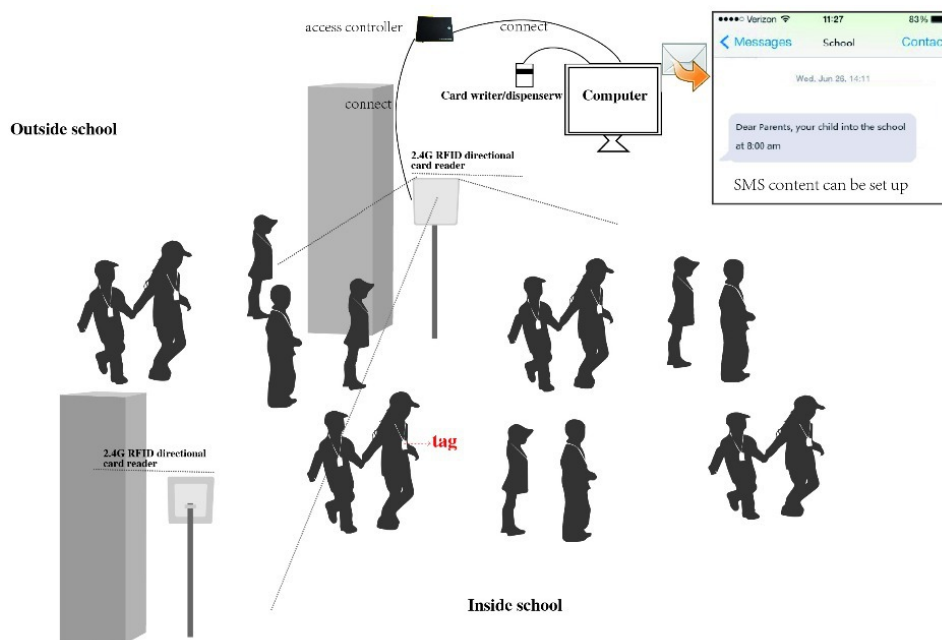


Ilustración 19: RFID tag for school

<https://ae01.alicdn.com/kf/HTB1EjXQIFXXXXwXXXXq6xXFXXj/a-set-of-software-access-controller-tags-and-Long-range-2-4G-RFID-Reader-for-school.jpg>

Sector textil^{LXV. LXVI}

En el sector textil estos sistemas pueden ser alojados en las prendas dentro de los dobladillos. Esto lleva a que ha de alojarse en determinadas zonas para evitar errores de lectura. Por ello la calidad de la lectura es fundamental además de estar en un entorno debidamente aislado.

Gracias al protocolo anticolisión se pueden identificar una cantidad muy grande de prendas u objetos sin tener visibilidad directa, o sin tener que sacarlas del contenedor donde están ubicadas.



Ilustración 20: RFID en sector textil

<http://www.rfidarena.com/media/7033/tag-testing-clothes-rack.jpg>

Gracias a este sistema se consigue una optimización de recursos humanos y una reducción considerable de mercancía extraviada.

Gestión de residuos^{LXVII, LXVIII, LXIX}

En este sector se adhieren las etiquetas sobre contenedores que contienen los residuos. Las etiquetas contienen los datos necesarios del cliente para una mejor gestión de los costes y de la verificación de datos. Esto reemplaza a lo llamado PAYT (Pay as you throw) donde los usuarios tenían que personarse en los centros para realizar el trámite de identificación y pago.



Ilustración 21: Waste bin RFID
<http://www.ubisys.de/en/img/rfid/solutions/ctrace.png>

Telemetría^{LXX, LXXI}

Aquí las etiquetas activas pueden enviar los datos de las mediciones de otros sensores. También pueden enviar una señal dentro de un establecimiento para facilitar la manera de poder encontrar el producto al que están adheridos.

4.2 SISTEMA PROTOTIPO: Entendiendo la tecnología

Una vez investigada la tecnología, se propone un diseño prototipo a pequeña escala para entender el funcionamiento de la misma.

A continuación, expondremos el diseño del sistema prototipo que cuenta con los mismos elementos que un sistema RFID estándar con la excepción de la antena, que viene incluida sobre el lector. Utilizaremos una placa lectora sobre un *shield* Arduino para comprobar las virtudes investigadas sobre la tecnología.

4.2.1 Etiqueta/Tag

Modelo: WRL-14147

Descripción:

Estas etiquetas, delgadas como el papel, funcionan simultáneamente con el lector RFID. Se puede leer y escribir en su banco de memoria e incluyen el llamado *kill-feature*. Cada etiqueta viene con un TID (*Truly Unique Id*) inalterable, pero con otros campos 100% modificables.

Características principales:

- EPC global Gen2
- ISO/IEC 18000-6c
- 800 bits de memoria
- 512 bits de *user-memory*
- TID de 64 bits (inalterable)
- Password de acceso de 32 bits
- *Kill*-password de 32 bits
- Frecuencia UHF (860-960 MHz depende de la región)
- Tamaño: 7 cm de largo x 1 cm de alto

4.2.2 Lector & Antena

Modelo: M6E Nano – Lector RFID simultáneo

Descripción:

El lector simultáneo RFID diseñado por SparkFun® es una placa lectora UHF RFID compatible con Arduino. Gracias a su pequeño tamaño, es ideal para comenzar proyectos con tecnología de radiofrecuencia. Además, al ser compatible con Arduino, es 100% programable y puede cargar diferentes subrutinas según las necesidades del diseñador.

Características principales:

- EPC global Gen2
- ISO/IEC 18000-6c
- Frecuencia UHF (860-960 MHz depende de la región)
- Distintos niveles de lectura, ajustable de 0dBm a 27dBm
- Lectura de hasta 150 tags simultáneamente por segundo
- Varias interfaces de datos, incluida Ethernet
- Interfaz de aplicación .NET
- Dimensiones: 22 x 26 x 3 mm

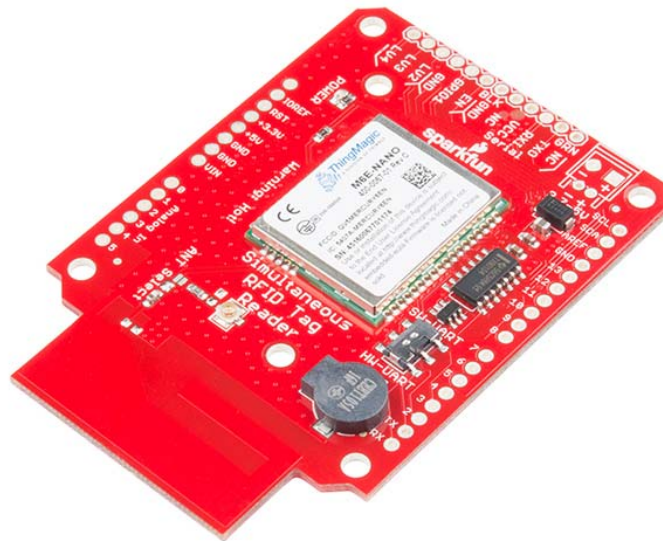


Ilustración 22: M6E Nano

<https://cdn.sparkfun.com/assets/parts/1/1/9/1/6/14066-01a.jpg>

4.2.3 Arduino

Modelo: Arduino UNO R3

Descripción:

La placa UNO de la casa Arduino®, es una de las mejores plataformas para proyectos de electrónica y digital. Dispone de todos los componentes electrónicos necesarios para adaptarse a cualquier necesidad. Las infinitas posibilidades de personalización que ofrece la Arduino UNO la hacen capaz de formar parte de casi cualquier sistema de pequeño o mediano tamaño.

Características principales:

- CPU ATmega 328p
- Voltaje entre 6-20V
- Memoria flash 32Kb
- Velocidad de reloj 16MHz
- Arduino IDE
- *Open source*

- Dimensiones: 68 x 53 x 3 mm



Ilustración 23: Arduino UNO R3

<https://store->

[cdn.arduino.cc/usa/catalog/product/cache/1/image/500x375/f8876a31b63532bbba4e781c30024a0a/a/0/a000066_front_3.jpg](https://store-)

4.2.4 Diseño

A pesar del pequeño tamaño del sistema, este ofrece las suficientes posibilidades para comprobar el funcionamiento de la tecnología RFID.

Emplearemos la placa de Sparkfun como lector y antena RFID, mientras que la placa Arduino UNO servirá para cargar el código necesario que nos permita realizar las pruebas experimentales. Además, gracias a la placa Arduino podremos otorgar a la placa lectora toda la potencia necesaria para llegar a su umbral máximo de dBm^{VIII}.

Para la parte software, emplearemos la biblioteca Arduino open source de Sparkfun (disponible en el Anexo 6) junto con el entorno de desarrollo (IDE) de Arduino. Esta biblioteca se encargará de controlar toda la comunicación serie entre el módulo M6E y la placa Arduino además de la manipulación e interpretación de bytes y la verificación CRC.

4.2.5 Pruebas & Resultados

Escogeremos una de las cinco etiquetas disponibles al azar y realizaremos seis pruebas concretas sobre ella:

1. Leer el EPC
2. Escribir un nuevo EPC
3. Leer el banco de memoria del usuario
4. Escribir sobre el banco de memoria del usuario
5. Leer las contraseñas de acceso y *kill*
6. Modificar las contraseñas de acceso y *kill*

Consideraciones previas: en el caso de utilizar la biblioteca pública de Arduino de SparkFun®, se deben realizar modificaciones sobre el código proporcionado acorde a las necesidades del usuario. En concreto se debe prestar atención a:

1. Tasa de baudios que se desea usar, por defecto 115200.
 - a. En nuestro caso, mantendremos dicha tasa de baudios.

2. Región de frecuencia, por defecto NORTH_AMERICA.
 - a. En nuestro caso, modificaremos la siguiente función:
nano.setRegion(REGION_EUROPE);

3. Valor potencia dBm, por defecto 5 dBm.
 - a. En nuestro caso, al utilizar una fuente de alimentación externa, modificaremos este rango a su valor máximo: 27dBm.
nano.setReadPower(2700);

4.2.5.1 Leer EPC

Requisitos previos:

Conectar la placa M6E al shield Arduino, realizar la conexión con el equipo y cargar el código “Constant_Read” disponible en la biblioteca de SparkFun®.

Se debe modificar el código proporcionado acorde a las necesidades del usuario como se establece en el apartado 4.2.5.

Prueba:

Una vez se haya compilado y cargado el código a la placa, utilizaremos el “Serial Monitor” disponible en el entorno IDE de Arduino para observar la entrada/salida del dispositivo.

Tras activar el monitor, se observó la siguiente salida:

```
COM5 (Arduino/Genuino Uno)
rssi[-49] freq[920200] time[735] epc[E2 00 40 05 73 07 01 79 17 60 61 DA ]
rssi[-48] freq[919400] time[761] epc[E2 00 40 05 73 07 01 79 17 60 61 DA ]
rssi[-48] freq[919400] time[791] epc[E2 00 40 05 73 07 01 79 17 60 61 DA ]
rssi[-47] freq[919400] time[824] epc[E2 00 40 05 73 07 01 79 17 60 61 DA ]
rssi[-46] freq[919400] time[855] epc[E2 00 40 05 73 07 01 79 17 60 61 DA ]
rssi[-45] freq[919400] time[889] epc[E2 00 40 05 73 07 01 79 17 60 61 DA ]
rssi[-45] freq[919400] time[923] epc[E2 00 40 05 73 07 01 79 17 60 61 DA ]
rssi[-45] freq[919400] time[956] epc[E2 00 40 05 73 07 01 79 17 60 61 DA ]
rssi[-47] freq[919400] time[986] epc[E2 00 40 05 73 07 01 79 17 60 61 DA ]
Scanning
rssi[-48] freq[921200] time[9] epc[E2 00 40 05 73 07 01 79 17 60 61 DA ]
Scanning
Scanning
Scanning
Scanning
```

Ilustración 24: Constant Read

Resultado:

Hemos podido comprobar satisfactoriamente que la etiqueta seleccionada al azar corresponde al EPC: E2-00-40-05-73-07-01-79-17-60-61-DA.

Sin embargo, hemos observado que la distancia de lectura es inferior a la recomendada por el fabricante (2 *feet* - 60 cm), llegando solo a una distancia de unos 10 centímetros en condiciones óptimas.

4.2.5.2 Modificar EPC**Requisitos previos:**

Conectar la placa M6E al shield Arduino, realizar la conexión con el equipo y cargar el código "Write_Read" disponible en la biblioteca de SparkFun®.

Se debe modificar el código proporcionado acorde a las necesidades del usuario como se establece en el apartado 4.2.5.

En este caso concreto, además de las modificaciones mencionadas en el apartado 4.2.5, se realizarán los siguientes cambios:

```
byte responseType = nano.writeTagEPC("Hello!", sizeof(stringEPC) - 1);
```

```
//En la memoria de la etiqueta solo se admiten número de bytes par.
```

```
//El -1 se utiliza para ignorar el /0 al final del string.
```

Prueba:

Una vez se haya compilado y cargado el código a la placa, utilizaremos el "Serial Monitor" disponible en el entorno IDE de Arduino para observar la entrada/salida del dispositivo.

Tras activar el monitor, se observó la siguiente salida:



```
COM5 (Arduino/Genuino Uno)
Enviar

Inizing...
Press a key to scan for a tag

Initializing...
Press a key to scan for a tag
Searching for tag
Searching for tag
epc[48 65 6C 6C 6F 21 01 79 17 60 61 DA ]
Press a key to scan for a tag

Autoscroll
Sin ajuste de línea
115200 baudio
Clear output
```

Ilustración 25: Write EPC

Resultado:

Hemos podido comprobar satisfactoriamente que la ha modificado su EPC:

- EPC anterior: E2-00-40-05-73-07-01-79-17-60-61-DA.
- EPC posterior: **48-65-6C-6C-6F-21-01-79-17-60-61-DA**

Como podemos observar, en código ASCII, se ha escrito sobre el EPC la cadena "Hello!", de izquierda a derecha.

4.2.5.3 Leer UserData

Requisitos previos:

Conectar la placa M6E al shield Arduino, realizar la conexión con el equipo y cargar el código "Read_User_Data" disponible en la biblioteca de SparkFun®.

Se debe modificar el código proporcionado acorde a las necesidades del usuario como se establece en el apartado 4.2.5.

Prueba:

Una vez se haya compilado y cargado el código a la placa, utilizaremos el "Serial Monitor" disponible en el entorno IDE de Arduino para observar la entrada/salida del dispositivo.

Tras activar el monitor, se observó la siguiente salida:

Se ha observado cierto grado de latencia en la sección de escritura de la etiqueta, un tiempo superior al de lectura.

4.2.5.5 Leer Passwords

Requisitos previos:

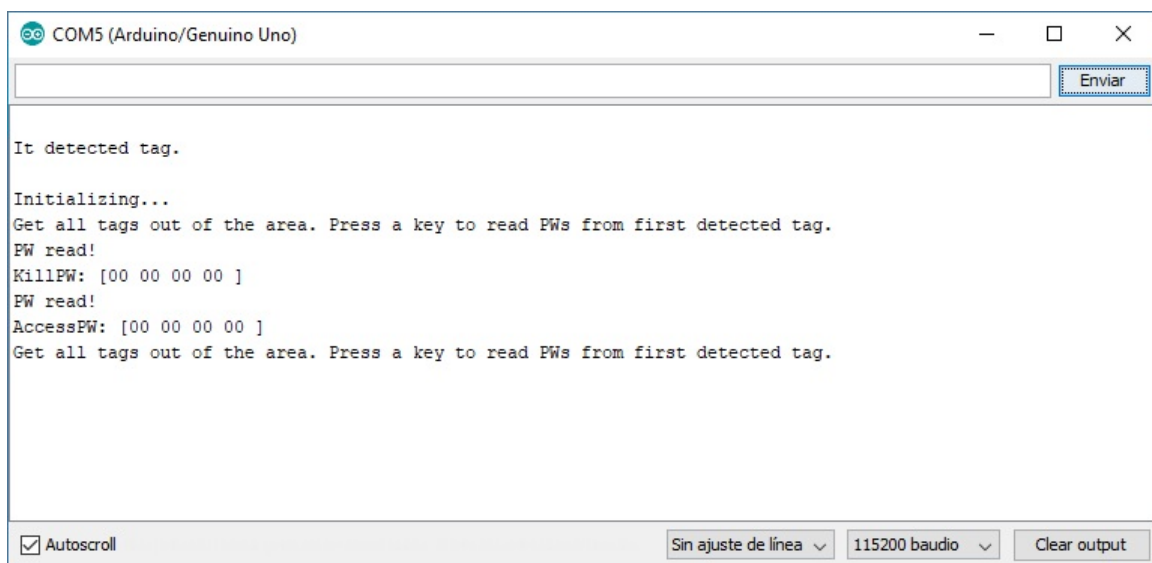
Conectar la placa M6E al shield Arduino, realizar la conexión con el equipo y cargar el código “Read_Passwords” disponible en la biblioteca de SparkFun®.

Se debe modificar el código proporcionado acorde a las necesidades del usuario como se establece en el apartado 4.2.5.

Prueba:

Una vez se haya compilado y cargado el código a la placa, utilizaremos el “Serial Monitor” disponible en el entorno IDE de Arduino para observar la entrada/salida del dispositivo.

Tras activar el monitor, se observó la siguiente salida:



```
COM5 (Arduino/Genuino Uno)
It detected tag.
Initializing...
Get all tags out of the area. Press a key to read PWs from first detected tag.
PW read!
KillPW: [00 00 00 00 ]
PW read!
AccessPW: [00 00 00 00 ]
Get all tags out of the area. Press a key to read PWs from first detected tag.
```

Ilustración 29: Read Password

Resultado:

Hemos obtenido satisfactoriamente las contraseñas de acceso y de *kill* de la etiqueta. Podemos observar que están en sus valores por defecto {00-00-00-00}.

4.2.5.6 Escribir Passwords

Requisitos previos:

Conectar la placa M6E al shield Arduino, realizar la conexión con el equipo y cargar el código “Read_Passwords” disponible en la biblioteca de SparkFun®.

Se debe modificar el código proporcionado acorde a las necesidades del usuario como se establece en el apartado 4.2.5.

En este caso concreto, además de las modificaciones mencionadas en el apartado 4.2.5, se realizarán los siguientes cambios:

```
byte myKillPW[] = {0xEE, 0xFF, 0x11, 0x22};  
byte response = nano.writeKillPW(myKillPW, sizeof(myKillPW));  
byte myAccessPW[] = {0x12, 0x34, 0x56, 0x78};  
response = nano.writeAccessPW(myAccessPW, sizeof(myAccessPW));
```

Prueba:

Una vez se haya compilado y cargado el código a la placa, utilizaremos el “Serial Monitor” disponible en el entorno IDE de Arduino para observar la entrada/salida del dispositivo.

Tras activar el monitor, se observó la siguiente salida:

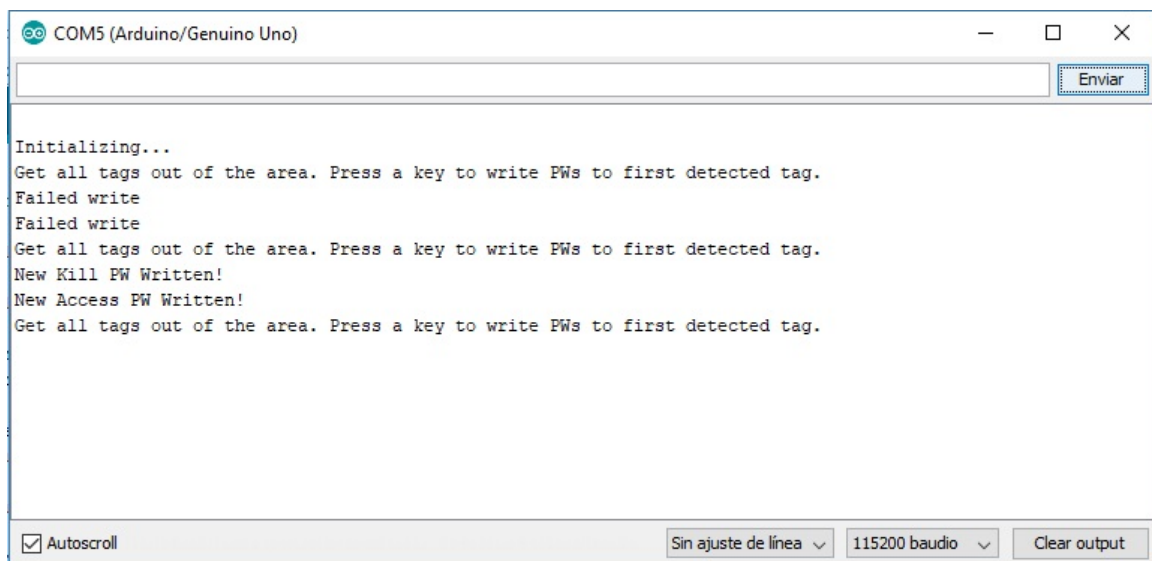


Ilustración 30: Write Password

Una vez recibida la confirmación de escritura satisfactoria, cargamos el código de lectura de contraseñas:

```
COM5 (Arduino/Genuino Uno)
Initializing...
Get all tags out of the area. Press a key to read PWs from first detected tag.
PW read!
KillPW: [00 00 11 22 ]
PW read!
AccessPW: [12 34 56 78 ]
Get all tags out of the area. Press a key to read PWs from first detected tag.
```

Ilustración 31: Write Password_2

Resultado:

Hemos modificado las contraseñas de acceso y de *kill* satisfactoriamente. Se ha observado un intento fallido de escritura sobre la contraseña y, al igual que en la escritura sobre el banco de memoria de usuario, se ha notado cierta latencia durante el proceso.

4.3 SISTEMA EXPERIMENTAL: Materiales utilizados

Una vez se ha demostrado que la tecnología funciona a pequeña escala, proponemos buscar y obtener unos materiales de calidad más avanzada para el resto del proyecto.

En este apartado procederemos a especificar los materiales utilizados durante la realización del resto del trabajo, así como la justificación de su elección.

Para la elección de los materiales, se tienen en cuenta una serie de factores generales reconocidos que afectan al área de lectura y que permiten al sistema funcionar con la máxima eficacia.

4.3.1 Etiqueta/Tag

Modelo: WRL-14147

Descripción:

Estas etiquetas, delgadas como el papel, funcionan simultáneamente con el lector RFID. Se puede leer y escribir en su banco de memoria e incluyen el llamado *kill-feature*. Cada etiqueta viene con un TID (*Truly Unique Id*) inalterable, pero con otros campos 100% modificables.

Características principales:

- EPC global Gen2
- ISO/IEC 18000-6c
- 800 bits de memoria
- 512 bits de *user-memory*
- TID de 64 bits (inalterable)
- Password de acceso de 32 bits
- *Kill*-password de 32 bits
- Frecuencia UHF (860-960 MHz depende de la región)
- Tamaño: 7 cm de largo x 1 cm de alto

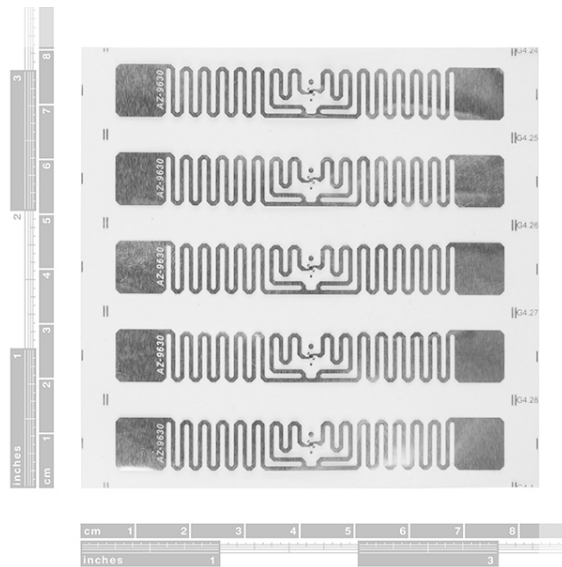


Ilustración 32: etiqueta RFID

<https://cdn.sparkfun.com/assets/parts/1/2/0/4/9/14147-02.jpg>

Justificación:

Para la elección de las etiquetas, hemos seguido un sistema de priorización conocido como **S.O.A.P**:

Limitación	Descripción
Size	Según el tamaño, el core y el receptor de la etiqueta puede tener distinto rendimiento y rango

Orientation	Directamente relacionado con la polarización de la antena
Angle	Directamente relacionado con la polarización de la antena
Placement	La posición de la etiqueta relativa a la antena

Tabla 3: S.O.A.P

Además de estas limitaciones, se ha tenido en cuenta:

- El estándar de tecnología ISO/IEC 18000 que especifica las frecuencias operables en Europa y en operaciones “no oficiales”.
- El tamaño del EPC, que debe poder almacenar identificaciones inequívocas de hasta 48 patinadores por prueba y varias pruebas por campeonato.
- El tamaño del banco de memoria, que podrá almacenar los datos principales del patinador, como su nombre, categoría y club.
- Contraseñas de acceso y de “muerte”, para evitar que el sistema lea etiquetas que no deben ser leídas o dejarlas fuera de uso.

Estas limitaciones están directamente relacionadas con las restricciones detalladas en el apartado “5.2 Restricciones del Reglamento”.

4.3.2 Lector/Reader

Modelo: Lector Impinj R220

Descripción:

Este lector es uno de los más populares en el mercado. Está diseñado para dar un alto rendimiento y una alta eficiencia, con un bajo consumo y un sistema de auto-optimización. Además de tener dos puertos de antena, es capaz de alimentar todo su sistema y el de las antenas a través de un *POE (Power-Over-Ethernet)*. Completamente móvil y con sistema anticolidión.

Características principales:

- EPC global Gen2
- ISO/IEC 18000-6c
- Frecuencia UHF (860-960 MHz depende de la región)
- *Power-Over-Ethernet* hasta +30dBm (EU-IEEE 802.3af)
- Sensibilidad de hasta -84 dBm
- Lectura de hasta 200 tags simultáneamente por segundo
- Varias interfaces de datos, incluida Ethernet
- Interfaz de aplicación .NET
- Dimensiones: 190 x 175 x 30 mm



Ilustración 33: lector RFID

<https://www.rfid4less.com/image/cache/catalog/products/1037584-228x228.jpg>

Justificación:

Para la elección del lector, se ha tenido en cuenta:

- Poder operar en frecuencias UHF en Europa
- Lectura simultanea de varias etiquetas por segundo
- Alta sensibilidad
- Alta potencia
- Software de lectura configurable

4.3.3 Antena

Modelo: PAS69278P-30D43F

Descripción:

Esta antena de *Laird Technologies*, es ideal para aplicaciones tanto *indoor* como *outdoor*. Es capaz de emitir y recibir señales de distintas bandas de frecuencia, desde señales telefónicas GSM hasta LTE y Wifi. Con polarización circular de 45° y una ganancia de 10dBi.

Características principales:

- Banda ancha: 698 MHz ~ 960 MHz y 1.71 GHz ~ 2.7 GHz
- Frecuencia UHF (860-960 MHz depende de la región)
- Ganancia de 10 dBi
- Potencia máxima de 50W
- Polarización circular de 45°
- Dimensiones: 295 x 295 x 82 mm



Ilustración 34: antena RFID

https://media.digikey.com/Photos/Laird%20Tech%20Photos/PAS69278P-30D43F_sml.jpg

Justificación:

Para la elección de la antena^{II}, se ha tenido en cuenta:

- Banda de frecuencia UHF, compatible con el lector y las etiquetas.
- Alta ganancia, si se requiere leer las etiquetas a largo alcance, se necesita de más potencia en la antena. Por desgracia la potencia de la antena es directamente proporcional al tamaño de esta. El tamaño entonces se convierte en una especificación restrictiva.
- Polarización circular, puesto que no se puede predecir la posición y Angulo de las etiquetas en su paso por el campo de acción de la antena.

4.3.4 Conectores

4.2.4.1 N a 4.3-10

Adaptador coaxial de 4.3-10 Macho a N Hembra de 6GHz (Ver anexo 4).

Puesto que la salida de las antenas son conexiones de tipo 4.3-10 Hembra, utilizaremos este conector como puente para transformar la salida 4.3-10 a una conexión de tipo N.



Ilustración 35: 4.3-10 a N
https://media.rs-online.com/t_large/R1237370-01.jpg

4.2.4.2 RP-TNC Macho a N Macho

Adaptador coaxial de 4.3-10 Macho a N Hembra (Ver anexo 4).

Puesto que las salidas del lector son conexiones de tipo RP-TNC hembra, utilizaremos este conector como puente para transformar la salida RP-TNC a una conexión de tipo N.



Ilustración 36: RP-TNC a N
<http://republicaradio.com/producto/adaptador-n-macho-rptnc-macho/>

5. CAPÍTULO III: VIABILIDAD Y REQUISITOS

A continuación, detallaremos el proceso y métodos a seguir para la prueba de concepto que se desea realizar, con la intención de probar la validez de la tecnología RFID en competiciones deportivas del estilo *patinaje en línea*.

A fin de que el resultado de la prueba sea considerada satisfactoria, se proponen una serie de requisitos y/o restricciones que se deben cumplir entre la tecnología y la prueba deportiva en cuestión.

Estos requisitos incluyen los límites físicos de la tecnología RFID y las restricciones deportivas impuestas por los reglamentos de la RFEP.

5.1 Límites físicos de la tecnología

Subdividiremos esta sección según el componente del sistema RFID que estemos tratando.

5.1.1 Límites físicos en etiquetas

Como hemos avanzado en el capítulo anterior, existen distintos tipos de etiquetas según su capacidad eléctrica: pasivas, activas y semi-pasivas. Cada una de ellas cuenta con unas características que las hace únicas, entre las que se encuentran el tamaño, la banda de frecuencia, la memoria disponible y el precio.

Para nuestro proyecto, encontramos que el tamaño de la etiqueta es la restricción física más importante por dos motivos:

1. En las competiciones deportivas, normalmente se impide llevar nada más que el equipamiento necesario. En el caso concreto del patinaje, además de los patines y las protecciones necesarias, no se permite llevar nada atado al cuerpo ni colgando de éste.



Ilustración 37: patinador

http://www.mishansobreruedas.com/wp-content/uploads/2014/04/IMG_30001-1024x683.jpg

2. A pesar de que las etiquetas activas incorporan una antena para obtener un mejor rendimiento, la transmisión de datos en éstas es considerablemente más lenta. En los casos donde es necesario obtener una lectura del tiempo lo más exacta posible, o determinar la velocidad media de un corredor entre dos puntos, las etiquetas pasivas se presentan como la mejor opción por su inmediata respuesta a la señal de la antena.
3. Aunque el coste de las etiquetas sea bajo, también se debe tener en cuenta que su pequeño tamaño provoca que el deterioro de estas sea mucho más probable en el resto.
4. Se ha reconocido que el agua altera el funcionamiento de los microchips en las etiquetas pasivas considerablemente. Provoca un deterioro más rápido y que parte de la señal de respuesta sea absorbida por el líquido.
5. La rápida respuesta de las etiquetas pasivas hace que múltiples de estas puedan ser leídas al mismo tiempo. Lo que se traduce como una mejora en el protocolo anticolidión del lector.

5.1.2 Límites físicos en antenas

Los factores físicos fundamentales que afectan a las antenas vienen relacionados con las ondas electromagnéticas que estas generan y el ruido que las puedan alterar.

1. La polarización de la antena puede afectar al consumo, rendimiento y distancia de lectura de la antena, entre otras cosas. Es importante elegir la polarización adecuada para la situación requerida.
La polarización lineal puede llegar más lejos con el mismo consumo que la circular, pero esta última es más efectiva a la hora de recoger etiquetas en distintos ángulos y posiciones.
Una de las prácticas más comunes es la de enfrentar dos antenas con polarización circular hacia la misma dirección (a derechas o a izquierdas), para así abarcar todo el espacio electromagnético posible y reducir los fallos de lectura.
2. El tamaño de la antena suele estar directamente relacionado con el consumo y la potencia que puede llegar a ofrecer. A mayor potencia, la antena es capaz de captar señales desde mayor distancia reduciendo el ancho del campo electromagnético generado.
El fabricante siempre establecerá un límite de potencia en W y en dBi que la antena será capaz de aguantar y ofrecer respectivamente.
3. Según la necesidad, el tamaño y la movilidad de la antena pueden ser restricciones físicas a tener en cuenta.
4. Si las necesidades del sistema RFID van a suponer su aplicación *outdoor* es importante tener en cuenta que el ambiente es un factor importante. Al igual que los líquidos absorben las ondas electromagnéticas, los metales y superficies similares pueden reflejarlas. Incluso un factor como el viento puede llegar a alterar la respuesta de una señal.

5.1.3 Límites físicos en lectores

El lector es la máquina encargada de interpretar las señales de ondas recibidas y convertirlas a un formato digital legible. Dependiendo del lector, su configuración puede estar más o menos expuesta a restricciones físicas, pero en líneas generales suele estar acondicionado por su movilidad, tamaño y conexiones.

5.1.4 Otras limitaciones físicas generales

Conexiones: aunque es poco probable, si se han reconocido casos donde el aislante de los cables de larga longitud no es suficiente para transmitir toda la información sin alteración alguna. También es importante resaltar la pérdida de información en su paso por dispositivos intermedios, como switches o repetidores.

Ambiente: por último, hay que tener en cuenta las situaciones ambientales donde se van a realizar los experimentos. Los materiales de los alrededores podrían afectar significativamente a las señales emitidas y/o recibidas.

Por ejemplo, se sabe que el metal refleja la energía de las ondas o que el agua, al contrario que el metal, las absorbe. Este factor es probablemente el más circunstancial y menos previsible, por ello es el que más pruebas de test necesita.

5.2 Restricciones del reglamento

A petición expresa de la *Real Federación Española de Patinaje*, se han incluido ciertas restricciones y requisitos con los que el proyecto debe ser complaciente para ser considerado de utilidad por parte de la organización. Todas ellas vienen directamente relacionadas y motivadas por los reglamentos que guían sus competiciones.

Reglamento	Requisito/Restricción
Art. 240-241 Existen distintas categorías donde se diferencian niños y adultos.	Diferentes alturas y posiciones
Art. 242 Un mismo corredor puede participar en varias pruebas, siempre que sean de su categoría o de la inmediatamente superior.	Poder identificar a un corredor inequívocamente participando en distintas pruebas para el mismo campeonato. Desactivar la lectura de su etiqueta si no está participando en ella.
Art. 246 En cada prueba los corredores serán puntuados.	Poder escribir el número de puntos en la etiqueta que identifique al corredor al paso por la línea de meta.
Art. 253-271 Existen distintos tipos de prueba y distintos circuitos.	Para cada prueba se debe registrar de distinta forma el paso del corredor por la línea de meta.
Art. 250 Cualquier carrera es susceptible de generar récord. Los récords se registran con una exactitud de centésimas de milisegundos.	Poder registrar el tiempo de un corredor con una exactitud de centésimas de milisegundos.
Art. 255 La línea de meta será marcada en una recta con una línea blanca de 5 cm de ancho.	Registrar el paso por la línea de meta en una línea no situada en curva.
Art. 266-268 Las pistas tendrán una anchura mínima de 5 metros y recomendable de 8 metros.	Detectar a los corredores a una distancia de 8 metros.

Art. 273 Se puede medir la velocidad media que un corredor a tenido en una prueba.	Introduciendo la distancia de la pista y las horas de salida y llegada, se puede obtener la velocidad media del participante.
Art. 273 La punta del patín es la que marca el tiempo de paso por la línea de meta.	Medir el tiempo al pasar la punta del patín del participante.
Art. 273 El número máximo de participantes será aproximado a los metros de anchura de la pista o circuito.	En este caso, la propia <i>RFEF</i> ha recomendado un máximo de 48 patinadores por prueba.
Art. 292 Un corredor puede ser expulsado durante una prueba, antes de que esta acabe.	Sacar del sistema a los corredores expulsados de una manera rápida y marcarlo en su identificación.
Art. 330 Un corredor puede sufrir amonestaciones.	Marcar en la identificación de un corredor el número de amonestaciones recibidas.

Tabla 4: Reglamento y restricción

5.3 Análisis de viabilidad en competiciones deportivas^{XIII, XX-XXVIII}

La tecnología RFID nos permite conocer los tiempos que han tenido los participantes durante la competición sin necesidad de tener que parar el reloj por cada uno de ellos. Gracias a esto, esta tecnología ha sido adoptada en una gran cantidad de deportes, siguiendo unas especificaciones acordes.

En el mundo del motor, los vehículos llevan etiquetas RFID activas para que cada equipo sepa perfectamente por donde se encuentra su piloto, vueltas realizadas, pendientes, y el tiempo que lleva, además de poder recabar mucha información.

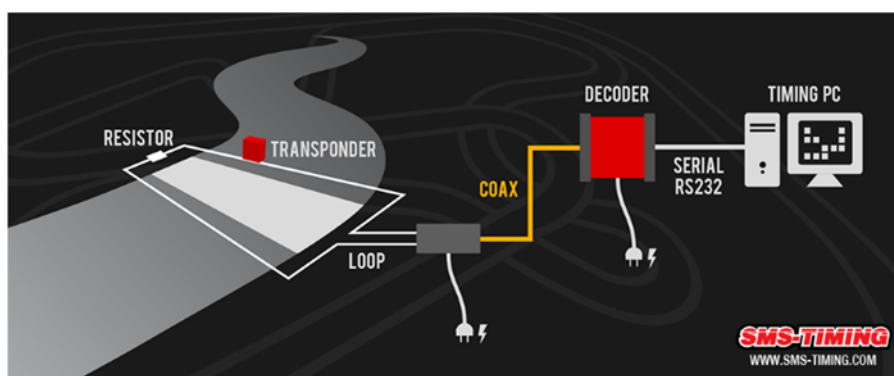


Ilustración 38: RFID en motor

<http://www.sms-timing.es/sistemas-de-cronometraje-de-alquiler-de-karts>

En la NFL los jugadores van equipados con una etiqueta RFID que mide la velocidad, la dirección y la distancia que han recorrido en tiempo real. Gracias a toda la

información que almacenan se pueden visualizar repeticiones de jugadas para poder adaptar mejores estrategias. Además, la NFL ha creado una aplicación de acceso público para que todo el mundo pueda conocer todos los datos de los partidos. En los estadios se pueden usar entre 12 y 20 antenas en el estadio. El entrenador puede visualizar en cualquier momento que las órdenes que ha dado a sus jugadores se están ejecutando correctamente.

También permite tener un historial del rendimiento del jugador para poder comparar los resultados anteriores de los ejercicios que entrena. Esto permite saber si el jugador está sobrecargando su cuerpo debido a la intensidad de los ejercicios. Permite ver la evolución de un deportista que acaba de recuperarse de una lesión. Permite a los atletas conocer sus marcas.

Esta tecnología también ha sido adoptada por aquellas empresas que tienen pruebas de acceso físicas para poder monitorizar el estado físico de los participantes. Permite conocer hasta el pulso cardíaco de un usuario.

Las estaciones de esquí usan tarjetas con una etiqueta RFID (forfait) para que los usuarios puedan acceder a sus servicios sin necesidad de tener que sacar la tarjeta de donde lo tengan guardado.

6. CAPÍTULO IV: DISEÑO

En este capítulo mostramos y detallamos el diseño del sistema experimental.

Aunque no es objetivo de este trabajo el diseño de software, también detallamos de manera ilustrada algunos casos de uso relevantes del sistema, acompañados de diagramas UML de casos de uso y secuencia para mejor interpretación sobre el funcionamiento del mismo.

6.1 Casos de uso

En este apartado, destacamos los casos de uso más comunes o generales para un sistema de identificación por radio frecuencia.

Ilustraremos un diagrama con los actores principales y los casos de uso a los que cada uno afecta y describiremos aquellos más representativos.

6.1.1 Diagrama de casos de uso

En ese diagrama mostramos los casos de uso más generales para los que el sistema RFID ofrece solución.

En el caso de las competiciones deportivas, encontramos tres roles de actores fundamentales:

1. El **personal profesional**, ya sean jueces, árbitros o demás organizadores encargados de asegurar el correcto desenlace de la competición. Estos actores son activos y pueden operar directamente sobre el sistema RFID, sobre el sistema supervisor o sobre las etiquetas.
2. El **sistema supervisor**, lo que denominamos como el conjunto de dispositivos computacionales que llevarán la logística de las competiciones (servidor, base de datos, etc.). A través de este sistema es por donde más casos de uso se pueden producir, puesto que es el actor principal que se comunica con el lector RFID.
3. El **corredor**, participante y portador de la **etiqueta**. Consideramos que es un actor semi-pasivo, puesto que puede interactuar voluntariamente con el

sistema RFID, pero también puede recibir indicaciones o modificaciones por parte del sistema.

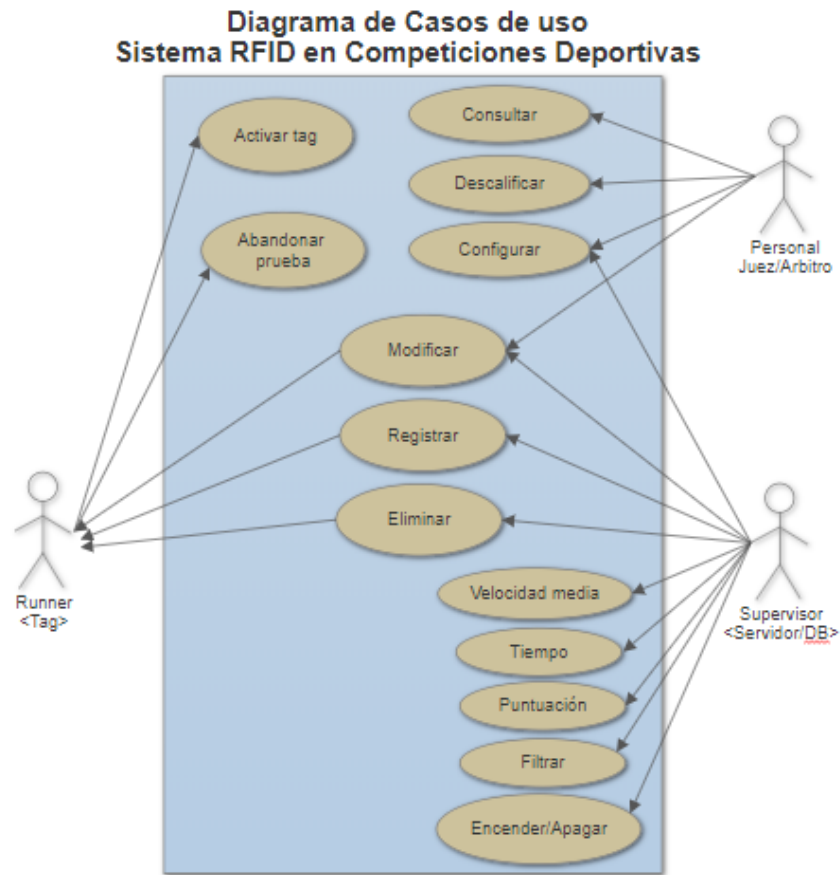


Ilustración 39: Diagrama de casos de uso

6.1.2 Caso de uso: Registrar

Caso de uso	Registrar una etiqueta RFID para un participante
Identificador	P1
Objetivo de contexto	Registrar a un participante dentro del sistema de gestión de la competición
Actor Principal	Supervisor
Actores secundarios	Participante
Qué datos usa	Lista de participantes
Precondiciones	Participante que quiere acceder a la competición

Postcondiciones	
Éxito	El participante dado de alta en el sistema
Fallo	Mensajes de error y el sistema vuelve a realizar la petición de alta del participante en cuestión o se termina la ejecución de la función.
Flujo principal	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sistema solicita datos a un participante. 2. Participante entrega datos. 3. Comprobación de los datos del participante. En caso de error → S3. 4. La organización se encarga de introducir los datos necesarios para la competición dentro de una etiqueta RFID. 5. Comprobación de que la etiqueta RFID contiene los datos introducidos en el paso anterior. En caso de error → S5 6. Registro de la etiqueta para el ámbito de la competición. En caso de error → S6
Flujos secundarios	<ul style="list-style-type: none"> • S3 <ul style="list-style-type: none"> • S3a: El participante ha entregado un dato erróneo . • S3b: El sistema contiene un dato erróneo sobre el participante. • En caso de que haya ocurrido un S3a, entonces se volverá al paso 2. • En caso de que haya ocurrido un S3b, entonces se actualizará la información en el sistema y se procederá con el paso 4. • El sistema mostrará un mensaje de error. • S5 <ul style="list-style-type: none"> • el sistema mostrará un mensaje de error. • Se procede de nuevo con el paso 4. • S6: <ul style="list-style-type: none"> • El sistema mostrará un mensaje de error. • Se procede de nuevo con el paso 6.

Tabla 5: Caso de uso: Registrar

6.1.3 Caso de uso: Carrera

Caso de uso	Secuencia de carrera
Identificador	P2
Objetivo de contexto	Reconocimiento de las etiquetas durante la prueba de la competición.
Actor Principal	Árbitro/Juez

Actores secundarios	Participante y Supervisor
Qué datos usa	Las etiquetas de los participantes
Precondiciones	Participantes cruzando la línea de meta
Postcondiciones	
Éxito	Mostrar por pantalla las etiquetas de todos los participantes que han cruzado la línea de meta.
Fallo	Mensajes de error, no reconocimiento de alguna etiqueta que haya cruzado la línea de meta.
Flujo principal	<ol style="list-style-type: none"> 1. Se mantiene activo el sistema enviando radiofrecuencias. En caso contrario → S1. 2. Reconocer etiquetas de los participantes. En caso contrario → S2. 3. Si última vuelta y reconoce último hombre entonces finaliza la ejecución. En caso contrario → S3.
Flujos secundarios	<ul style="list-style-type: none"> • S1 <ul style="list-style-type: none"> • el sistema tiene un error <ul style="list-style-type: none"> • si ocurre durante la competición, entonces se almacenan los datos que hay hasta entonces. • se reinicia el sistema. • el árbitro solicita una parada de la competición <ul style="list-style-type: none"> • se detiene el sistema. • el sistema almacena los datos que hay hasta entonces. • en caso de que el árbitro reanude la competición. <ul style="list-style-type: none"> • el sistema se reanude. • en caso de que el árbitro solicite el reinicio de la competición. <ul style="list-style-type: none"> • el sistema tiene que reanudarse. • el sistema muestra un mensaje de error. • S2 <ul style="list-style-type: none"> • se anota el dorsal del participante. • se añade la entrada del participante al sistema. • S3 <ul style="list-style-type: none"> • vuelta al caso 1.

Tabla 6: Caso de uso: Carrera

6.1.4 Caso de uso: Descalificación

Caso de uso	Descalificación de un participante
Identificador	P3
Objetivo de contexto	Descalificación de un participante en cualquier instante de la competición.
Actor Principal	Árbitro
Actores secundarios	Participante y Supervisor
Qué datos usa	La etiqueta del participante que el árbitro va a proceder a descalificar.
Precondiciones	Motivo por el cual el participante va a ser descalificado
Postcondiciones	
Éxito	El sistema registra que el participante ha sido descalificado y manda una directiva al lector para que no reconozca la etiqueta del participante durante el resto de la competición.
Fallo	Mensaje de error, el sistema sigue reconociendo la etiqueta del participante descalificado.
Flujo principal	<ol style="list-style-type: none"> 1. Árbitro manda directiva al sistema para descalificar a un participante. En caso contrario → S1. 2. El sistema recibe la directiva y la realiza. En caso contrario → S2.
Flujos secundarios	<ul style="list-style-type: none"> • S1 <ul style="list-style-type: none"> • Se mostrará un mensaje de error. • Se volverá al paso 1 para que el árbitro vuelva a realizar la solicitud. • S2 <ul style="list-style-type: none"> • Se mostrará un mensaje de error. • Se volverá al paso 1 para que el árbitro vuelva a realizar la solicitud.

Tabla 7: Caso de uso: Descalificación

6.2 Diagramas de secuencia

Una vez se han determinado los casos de uso más comunes que tendrá el sistema, aquí ilustramos mediante diagramas de secuencia algunos de los más representativos.

6.2.1 Secuencia de reposo

Decimos que el sistema de identificación por radiofrecuencia está en reposo cuando la antena no capta ninguna señal electromagnética que pueda ser interpretada por el lector del sistema.

En este caso, no hay ninguna etiqueta en el campo electromagnético generado por la antena que pueda ser leída. Sin embargo, el sistema está activo, el lector está energizando la antena, esta última mantiene el campo electromagnético activo y el sistema supervisor se mantiene a la espera de alguna señal que mostrar.

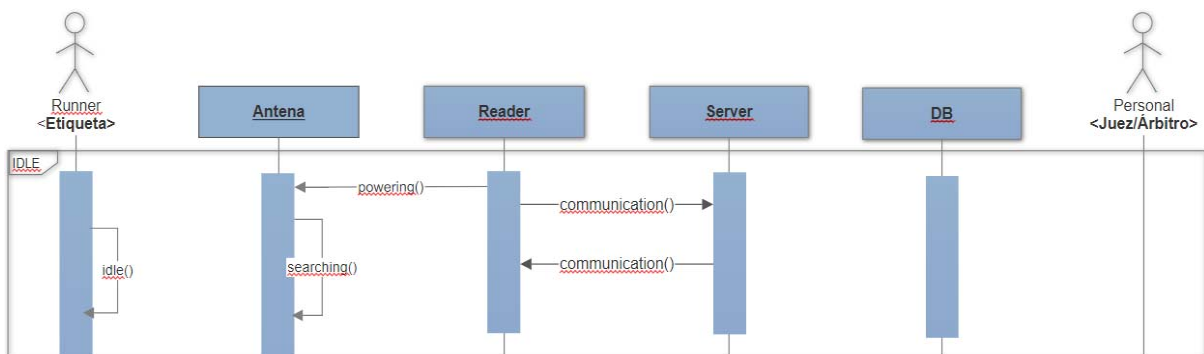


Ilustración 40: Diagrama de secuencia: Reposo

6.2.2 Secuencia de registro

La primera operación que debería realizar un participante es la de registrar su etiqueta en el sistema. Este registro, deberá estar supervisado por un organizador de la competición, para asegurar que no hay inconsistencias ni alteraciones en los datos de registrados en el sistema.

Esta secuencia de registro puede realizarse de igual manera para todos los participantes, antes y después de cada competición y prueba.

Por ejemplo, supongamos una competición con distintas pruebas y distintas categorías. En este caso, los organizadores podrán entregar las etiquetas a los participantes con modificaciones en los EPC o información adicional en el banco de memoria, de forma que la etiqueta identifique unívocamente a un corredor por su nombre, edad, categoría, sexo, etc. De esta forma, cuando sea el turno de una categoría y sexo concreto, y los participantes accedan a la pista, se compruebe que todos los participantes que hayan entrado cumplan los requisitos establecidos.

En esta secuencia de registro también se puede incluir una contraseña genérica de “desactivación” por parte de la organización, para desactivar la etiqueta permanentemente en caso de descalificación.

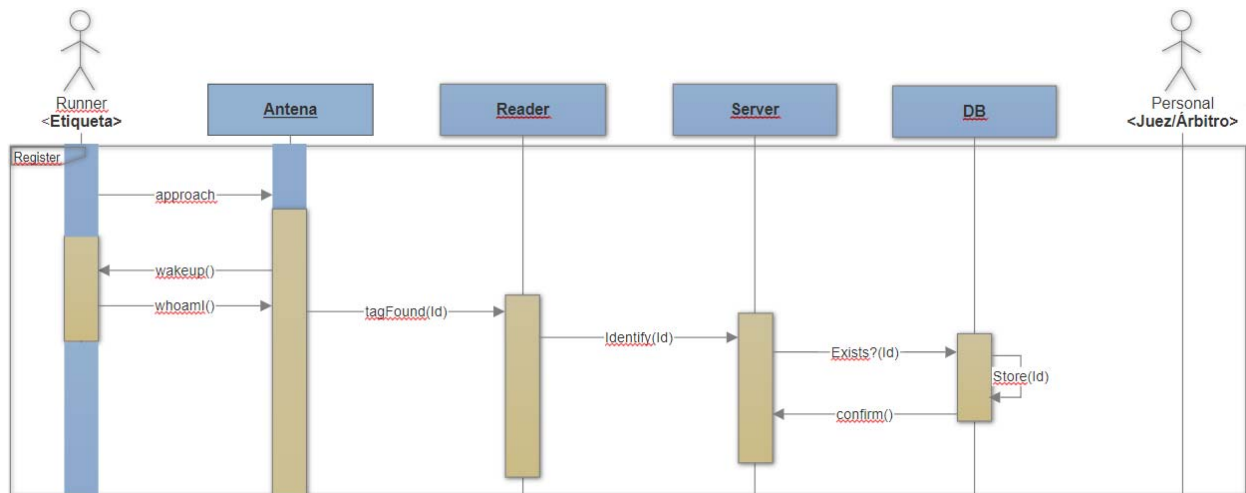


Ilustración 41: Diagrama de secuencia: Registro

6.2.3 Secuencia de carrera

Englobamos como caso de uso “carrera” a cualquier competición para la que se configure el sistema de radiofrecuencia: carrera normal, prueba contrarreloj, carrera de relevos, etc.

El sistema funcionará de manera habitual, depende de la configuración que los organizadores o el personal profesional decida instalar.

En este caso, consideramos que la etiqueta pasiva entra en el radio de efectividad del campo electromagnético generado por la antena y responde ante esta señal con su identificador. La antena transmitirá la señal recibida por parte de la etiqueta al lector, el cual interpretará y generará una señal digital que el equipo supervisor (reflejado como servidor y base de datos) recibirá.

En este momento, el comportamiento puede variar según como se haya construya la arquitectura del sistema supervisor. Para ilustrar mejor el caso de uso, hemos optado por suponer que existe una comunicación síncrona entre el servidor y la base de datos, de manera que cada información recibida sea comparada y actualizada en la base de datos en el mismo momento.

Una vez finalizada la prueba competitiva, el sistema supervisor informará al personal profesional, el cual podrá realizar las operaciones habituales de cualquier

organizador, ya sea consultar participantes, modificar algún resultado, exportar los resultados, etc.

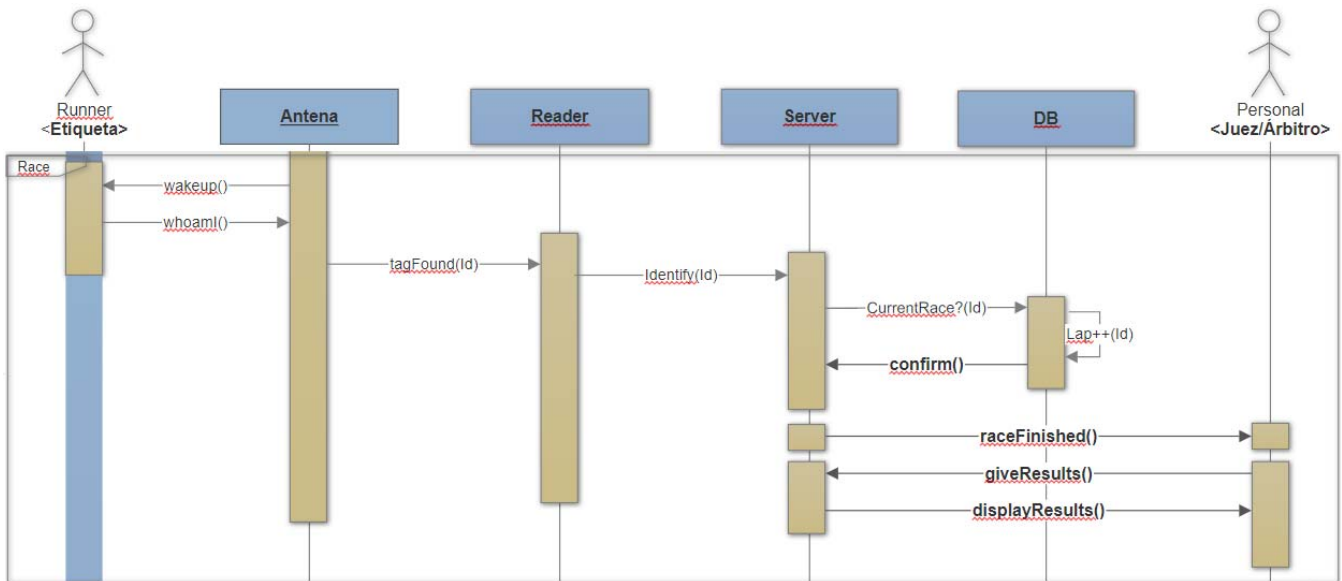


Ilustración 42: Diagrama de secuencia: Carrera

6.2.4 Secuencia de descalificación

Aquí describimos el proceso de descalificación de un participante, ya sea antes, durante o después de la prueba.

El juez/árbitro solicitará la descalificación de un corredor, indicando el dorsal o identificador físico de este al sistema supervisor. Se comprobará que el corredor existe y en caso afirmativo, devolverá el identificador EPC de ese corredor.

Una vez se haya hecho esa conversión de corredor a EPC, el sistema supervisor enviará al lector la señal para que desactive esa tarjeta y no la vuelva a recoger.

En el caso de que la señal de desactivación sea permanente, no se espera ninguna respuesta de confirmación por parte de la etiqueta.

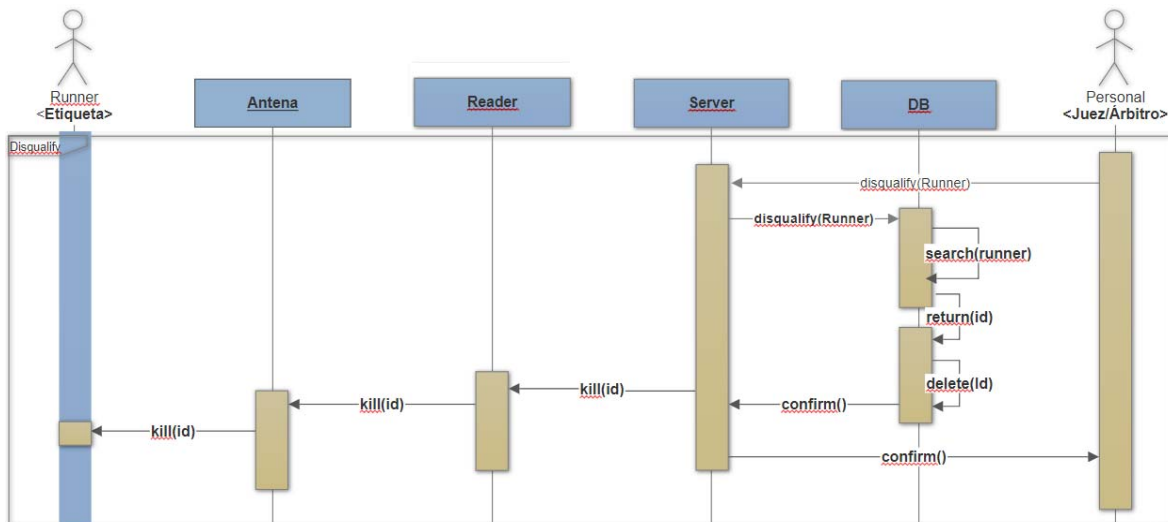


Ilustración 43: Diagrama de secuencia: Descalificación

6.3 Diseño del sistema experimental

El diseño del sistema experimental es el resultado de la investigación desarrollada en el apartado “4.1.1 La Tecnología RFID” junto con el apartado “4.3 Materiales utilizados”.

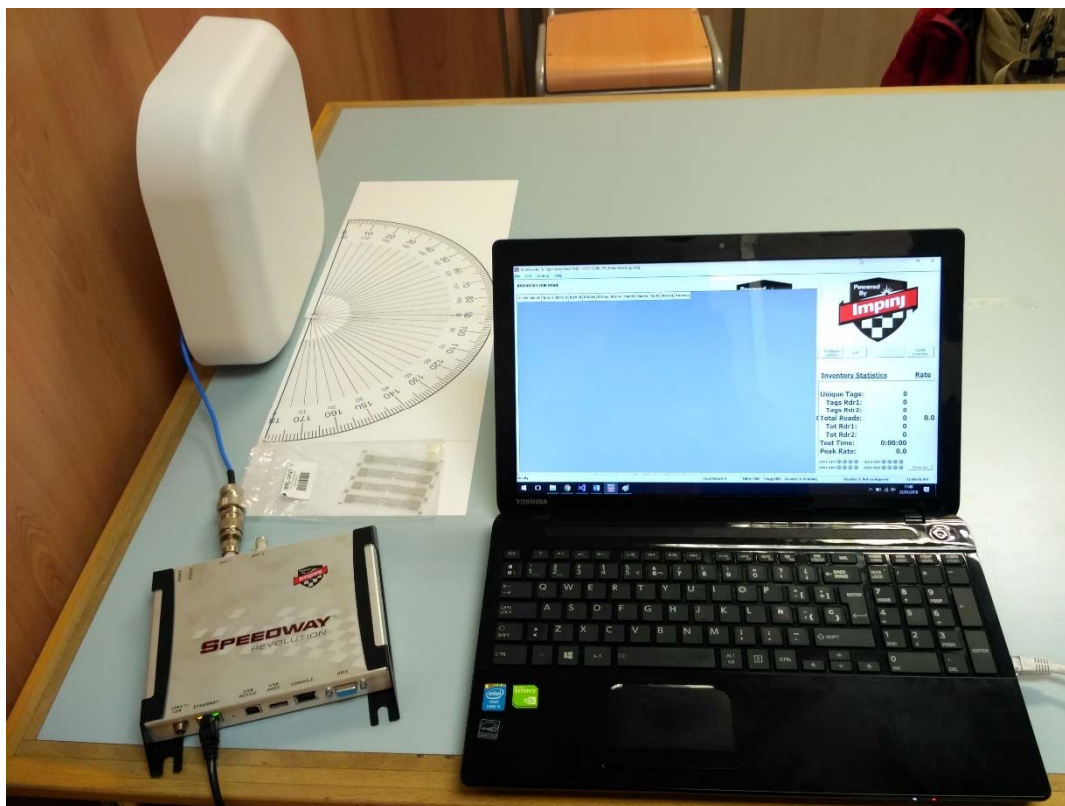


Ilustración 44: Sistema experimental

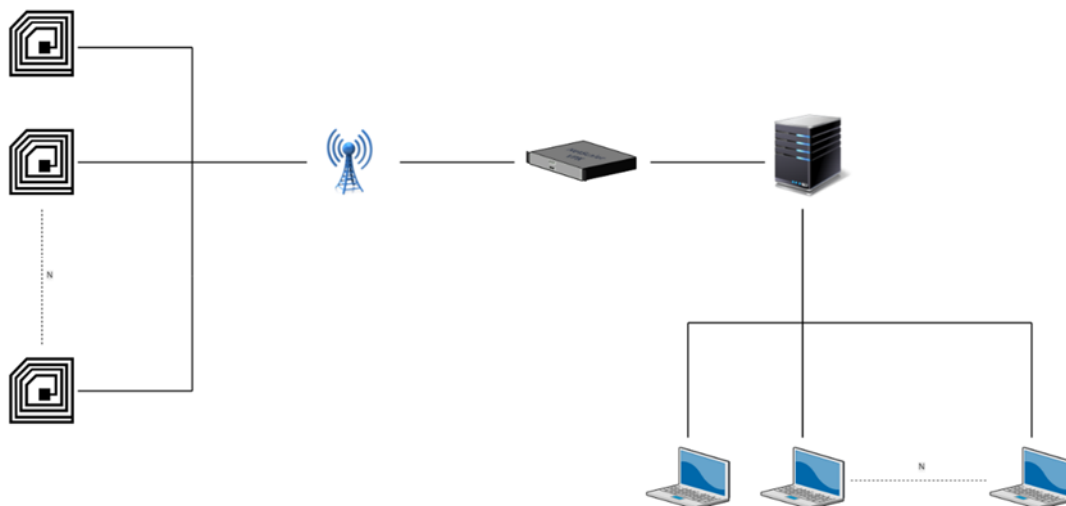


Ilustración 45: Arquitectura del sistema

En el diagrama de la ilustración 45 se expone la arquitectura general del sistema experimental planteado, en concreto se utilizarán:

- 5 etiquetas
- 1 antena
- 1 lector
- 1 equipo supervisor

A continuación, detallamos el sistema experimental:

1. **Lector:** emplearemos el Speedwayr 220 de Impinj (descrito en 5.2.2), alimentado mediante un POE (Power Over Ethernet).
Por un lado, se comunicará con el equipo supervisor mediante una conexión Ethernet.
Por otro lado, estará conectado por el *puerto 1* a la antena del sistema mediante un cable coaxial.
2. **Antena:** emplearemos el modelo de antena PAS69278P-30D43F descrito en el apartado 4.3.3.
Vendrá alimentada por el lector del sistema en el *puerto 1*, mediante una conexión por cable coaxial.
Se recomienda montar el soporte de la antena para mantenerla en una posición lo más vertical posible, de modo que las ondas generadas fluyan en un plano horizontal.
3. **Etiqueta:** emplearemos cinco etiquetas no adherentes modelo WRL-14147 descrito en el apartado 4.3.1.

#	Valor EPC	Referencia
1	E200-4005-7307-0183-1760-61BC	BC
2	E200-4005-7307-0183-1760-61CA	CA
3	E200-4005-7307-0183-1760-61CC	CC
4	E200-4005-7307-0183-1760-61DA	DA
5	E200-4005-7307-0183-1760-61DC	DC

Tabla 8: Etiquetas

Se recomienda modificar los EPC de las etiquetas para identificar mejor cada una. En nuestro caso, no se modificarán puesto que el fabricante es el mismo y basta con introducir un filtro en la configuración del lector para solo obtener las lecturas necesarias (ver ilustración).

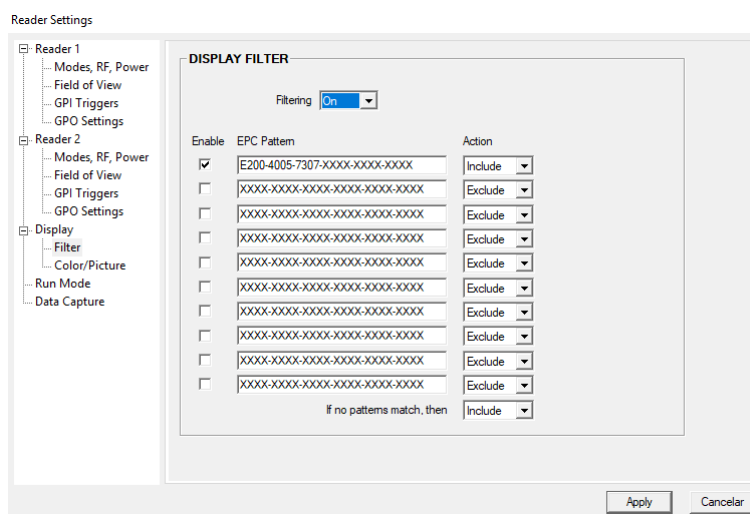


Ilustración 46: Filtro etiquetas

4. **Sistema supervisor:** será un equipo portátil con sistema operativo Windows 10 y para la visualización de los datos se empleará el software “Mutireader®” de Impinj (ver anexo).

La información relevante que se obtendrá de la aplicación y se tendrá en cuenta en los resultados de los experimentos:

#	Nombre	Descripción
1	EPC Value	Etiqueta EPC de 96 bit en hexadecimal
2	TotCnt	Número total de lecturas de esa etiqueta
5	RDRate	Ratio de lectura (TotCnt / Ttx-t0)
6	RS1mx	Indicador de fuerza máxima de señal en lector 1
8	Timet0	Primer momento de lectura de la etiqueta
9	Timetx	Último momento de lectura de la etiqueta
10	Ttx-t0	Tiempo entre la primera y última lectura de la etiqueta
11	NoChg	Tiempo de inactividad de la etiqueta entre lecturas

Tabla 9: Datos de lectura

7. CAPÍTULO V: PRUEBAS Y RESULTADOS

En este apartado se describen los experimentos realizados, su diseño, requisitos previos, objetivos y resultados. Además, se añade un comentario breve respecto a los resultados de los casos experimentales realizados.

7.1 Experimento 1

7.1.1 Requisitos previos

Obtener los materiales necesarios comentados en el apartado 4.3 de este documento o dispositivos de características similares, junto con las conexiones necesarias, que permitan la implementación de un sistema de *identificación por radio frecuencia*.

7.1.2 Objetivo

Probar el funcionamiento correcto de los sistemas de manera colectiva.

El experimento se considerará satisfactorio si, una vez conectados todos los sistemas en funcionamiento, se efectúa la lectura correcta de una etiqueta RFID. Deberemos obtener los rangos de lectura máximos y mínimos de la antena utilizada y contrastar con el datasheet de la antena el ancho del campo electromagnético generado por esta.

7.1.3 Descripción

Este experimento se desarrollará en dos pasos:

1. Comprobar el ancho de apertura de la onda generada por la antena

- a. Situaremos un transportador de ángulos debajo de la antena, de forma que ésta última quede situada en el eje central del semicírculo.

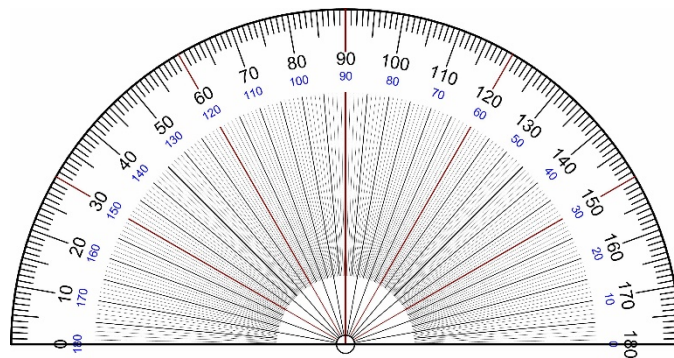


Ilustración 47: Transportador de ángulos

Esto nos ayudará a determinar el ancho aproximado del campo electromagnético generado por la antena.



Ilustración 48: Antena sobre transportador

- b. Activaremos el modo de lectura continua en el software del sistema e iremos aproximando la etiqueta partiendo del grado 0 hacia el grado 90.
- c. Una vez obtengamos lecturas de la etiqueta con un intervalo entre activaciones de menos de 5 milisegundos, señalaremos ese ángulo como la apertura del campo electromagnético generado (ver datasheet antena).

2. Comprobar la distancia máxima de lectura de una etiqueta

- a. Señalaremos una línea recta con origen en el grado 90 del transportador situado (la base central de la antena) y realizaremos distintas marcas para diferenciar distancias.
- b. Activaremos el modo de lectura continua en el software del sistema e iremos alejando la etiqueta partiendo del grado 90 en línea recta.
- c. Una vez obtengamos lecturas de la etiqueta con un intervalo entre activaciones de más de 5 milisegundos, señalaremos esa posición como la longitud máxima del campo electromagnético.

7.1.4 Resultados

Para ambas partes del experimento, se utilizó una única etiqueta referenciada como "BC".

1. Comprobar el ancho de apertura de la onda generada por la antena

Siguiendo los pasos descritos en el apartado anterior, se obtuvieron los siguientes resultados en un ángulo entre los 25 y 30 grados desde el origen:

#	EPC Value	TotCnt	RDRate	RS1mx	Timet0	Timetx	Ttx-t0	NoChg
1	61BC	89	8.9	-66	0.000	9.941	9.942	2

Tabla 10: Resultado experimento 1_1

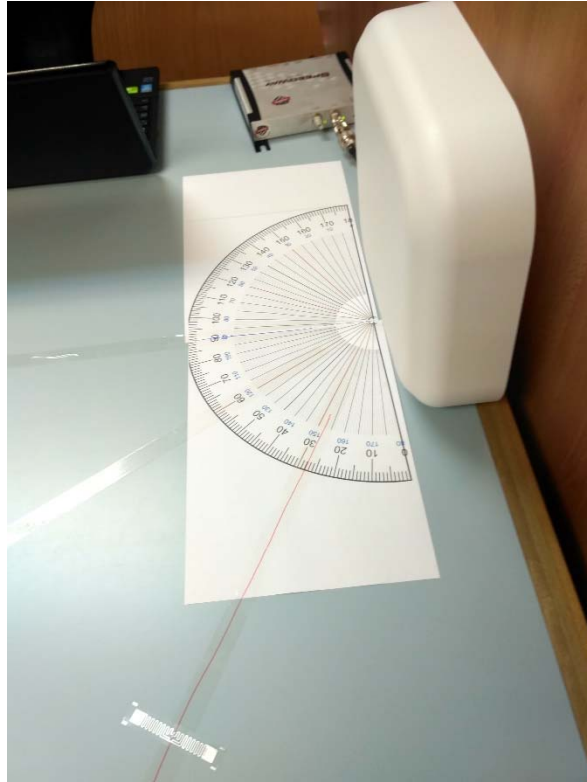


Ilustración 49: Ángulo del campo electromagnético

Comentarios:

Más adelante, se repitió el experimento en otra situación *indoor* más espaciosa. En esta ocasión, se marcó el campo electromagnético generado aproximado por la antena en un plano horizontal. También se añadieron sendas marcas a uno y dos metros de distancia respecto de la antena, donde la señal llegaba a leer etiquetas de manera estática y consistente:

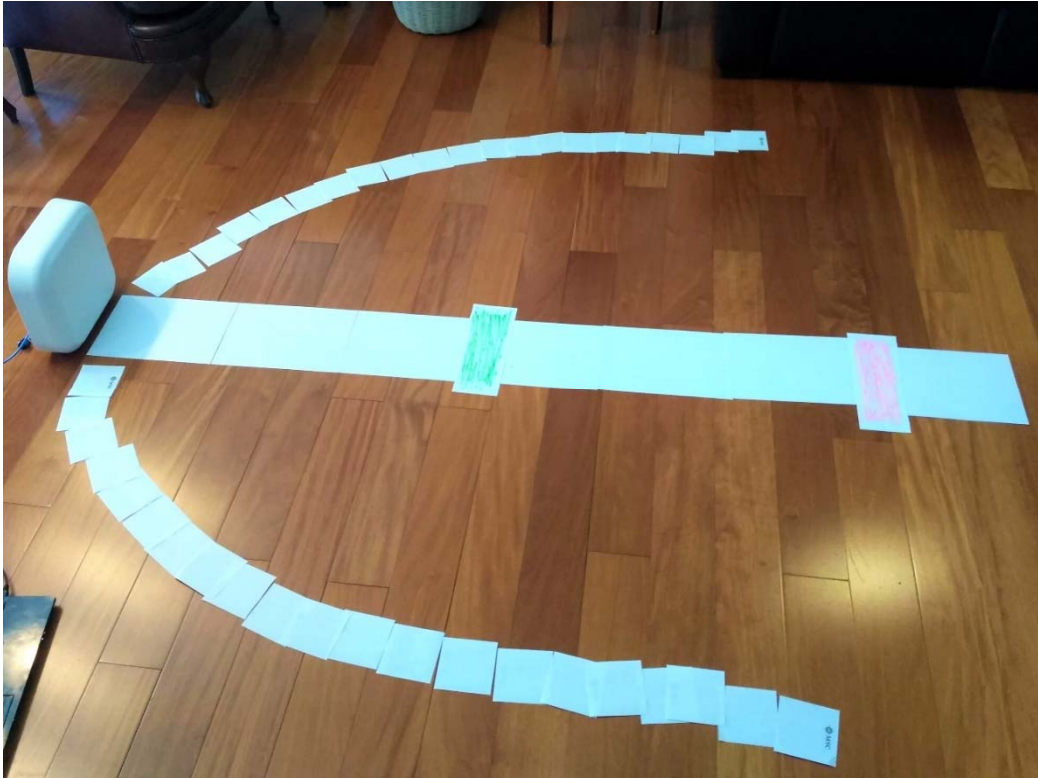


Ilustración 50: Campo electromagnético_1

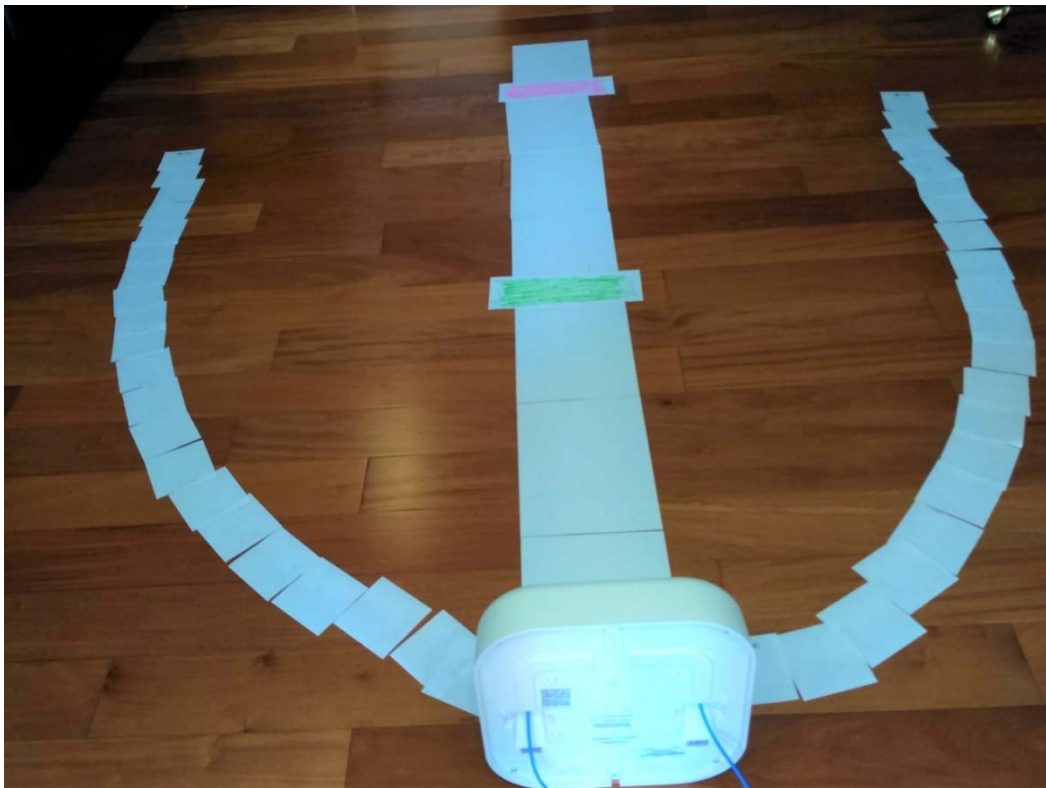


Ilustración 51: Campo electromagnético_2

Los resultados obtenidos están en sintonía con la información descrita en el datasheet de la antena, donde se describe una circunferencia de efectividad alrededor de la antena tanto en el plano vertical como horizontal.

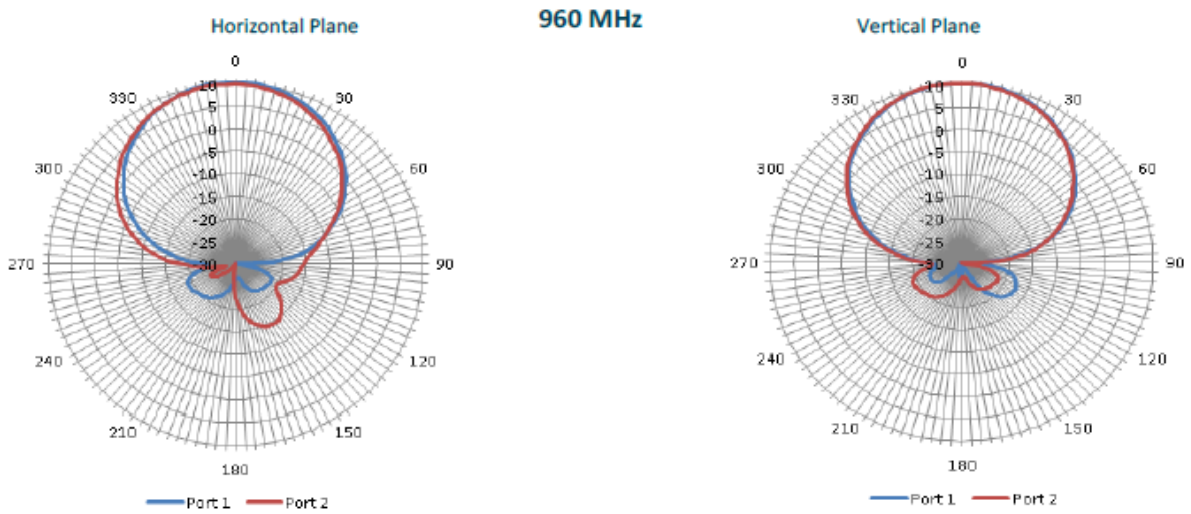


Ilustración 52: Diagrama del campo electromagnético

Como ya suponíamos, esta apertura representa un problema cuando nos referimos al entorno de las competiciones deportivas. Puede usarse como un indicador de corredores, para saber si ha pasado o no por cierta zona de la pista, pero el tamaño del área de efectividad es tan grande que no sirve como marcador del momento exacto del paso del corredor por la línea de meta.

2. Comprobar la distancia máxima de lectura de una etiqueta

Siguiendo los pasos descritos en el apartado anterior, se obtuvieron los siguientes resultados en una línea recta con origen en el ángulo 0:

a) Distancia 2 metros:



Ilustración 53: Marca de 2 metros

#	EPC Value	TotCnt	RDRate	RS1mx	Timet0	Timetx	Ttx-t0	NoChg
1	61BC	132	13.7	-64	0.000	9.633	9.634	2

Tabla 11: Resultado experimento 1_2_a

b) Distancia 5 metros:

#	EPC Value	TotCnt	RDRate	RS1mx	Timet0	Timetx	Ttx-t0	NoChg
1	61BC	35	3.6	-66	0.000	9.671	9.672	2

Tabla 12: Resultado experimento 1_2_b

Comentarios:

Elegimos las dos distancias que más representaban los extremos de recepción de la etiqueta en ángulo favorable. Es decir, aproximadamente a dos metros de distancia es la situación máxima a la que la antena capta la señal de la etiqueta a ritmo de una lectura por milisegundo.

Sin embargo, a los cinco metros la lectura era significativamente menor, dando comienzo a periodos de inactividad de lectura ampliamente grandes, dando lugar a errores y fallos de lectura.

Del ratio de lectura a dos metros de 13.7 pasamos a un ratio de lectura de 3.61 a cinco metros, lo que equivale a una reducción de más de 70%.

Esto último es insuficiente si entramos en las restricciones del reglamento, donde se indicaba que el mínimo de anchura de pista necesario debían ser cinco metros.

Por último, hay que destacar que estas pruebas se realizaron en un entorno favorable para la lectura: espacio cerrado *indoor* y en plano completamente horizontal.

Posteriormente, se repitió el experimento a distancias de uno y dos metros en un ambiente más favorable:

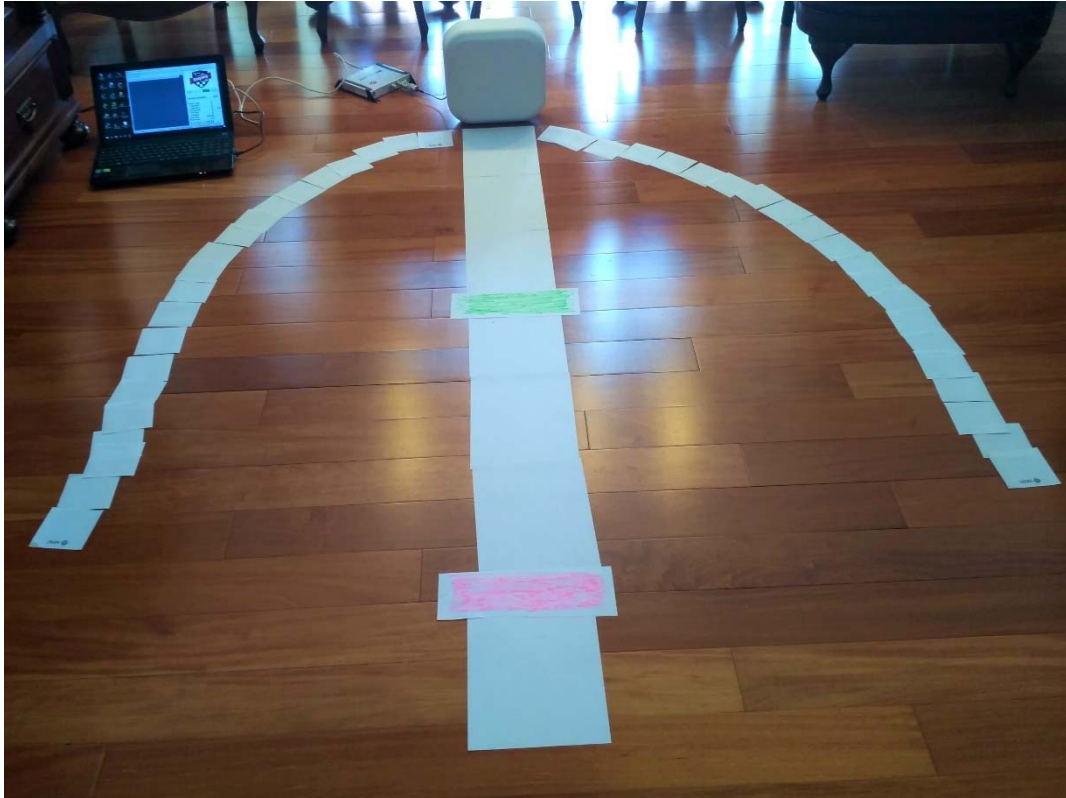


Ilustración 54: Campo electromagnético_3

Donde se obtuvieron los siguientes resultados:

a) 1 metro

#	EPC Value	TotCnt	RDRate	RS1mx	Timet0	Timetx	Ttx-t0	NoChg
1	61DA	154	15.4	-66	0.000	9.989	9.991	2

Tabla 12: Resultado experimento 1_3_a

b) 2 metros

#	EPC Value	TotCnt	RDRate	RS1mx	Timet0	Timetx	Ttx-t0	NoChg
1	61DA	125	12.6	-63	0.000	9.910	9.912	2

Tabla 13: Resultado experimento 1_3_b

Como podemos comprobar, el resultado a un metro de distancia es significativamente más favorable que a dos metros, el cual se asemeja bastante al resultado del experimento 1_2_a.

Esta información será de utilidad para contrastarla con el experimento número 3, donde introduciremos etiquetas en movimiento de manera que atraviesen el campo electromagnético de manera individual y colectiva.

7.2 Experimento 2

7.2.1 Requisitos previos

La lectura satisfactoria de una etiqueta RFID, proceso descrito en el apartado “7.1 Experimento 1”.

7.2.2 Objetivo

Probar la lectura correcta de varias etiquetas RFID en distintas posiciones, distancias y orientaciones.

Se pretenden obtener la comparativa de los resultados del experimento 1 con los resultados en los casos donde se tengan varias etiquetas en el rango de lectura de la antena, así como probar la efectividad del protocolo anticolidión del sistema.

El experimento se considerará satisfactorio si, una vez conectados todos los sistemas en funcionamiento, se efectúa la lectura correcta de varias etiquetas RFID en distintas posiciones, distancias y orientaciones con un grado de efectividad aceptable.

7.2.3 Descripción

Este experimento se desarrollará en dos pasos:

1. Comprobar la efectividad del protocolo anticolidión a una distancia óptima con etiquetas fijas

- a. Siguiendo con el experimento 1, situaremos una marca en la distancia óptima donde la señal de la antena produce lecturas a ritmo de una lectura por milisegundo. En nuestro caso, dos metros.
- b. Posicionaremos varias etiquetas en la distancia marcada y se realizarán varias series de lecturas en distintas orientaciones. En nuestro caso se realizarán tres sesiones: a orientaciones 0, 45 y 90 grados respecto a la antena.
- c. Una vez se obtengan lecturas en la posición y orientación elegidas, comenzarán a recogerse los datos en sesiones de 10 segundos.

2. Comprobar la efectividad del protocolo anticolidión a una distancia límite con etiquetas fijas

- a. Siguiendo con el experimento 1, situaremos una marca en la distancia limite donde la señal de la antena produce lecturas sin patrón de ritmo de lectura. En nuestro caso, cinco metros.
- b. Posicionaremos varias etiquetas en la distancia marcada y se realizarán varias series de lecturas en distintas orientaciones. En nuestro caso se realizarán tres sesiones: a orientaciones 0, 45 y 90 grados respecto a la antena.
- c. Una vez se obtengan lecturas en la posición y orientación elegidas, comenzarán a recogerse los datos en sesiones de 10 segundos.

7.2.4 Resultados

Para ambas partes del experimento, se utilizaron las cinco etiquetas disponibles, referenciadas como "BC", "CA", "CC", "DA" y "DC".

1. Comprobar la efectividad del protocolo anticolidión a una distancia óptima

Siguiendo los pasos descritos en el apartado anterior, se obtuvieron los siguientes resultados:



Ilustración 55: Varias etiquetas 2 metros

0 grados (frente a frente)

#	EPC Value	TotCnt	RDRate	RS1mx	Timet0	Timetx	Ttx-t0	NoChg
1	61DC	94	9.5	-66	0.000	9.890	9.890	2
2	61BC	128	13.0	-53	0.020	9.880	9.860	2
3	61CC	58	5.9	-66	0.027	9.923	9.896	2
4	61CA	102	10.3	-62	0.035	9.876	9.841	2
5	61DA	60	6.4	-67	0.486	9.796	9.310	5
MEDIA		88.4	8.26	-62.3	NA	NA	NA	2.3

Tabla 13: Resultado experimento 2_1_a

45 grados

#	EPC Value	TotCnt	RDRate	RS1mx	Timet0	Timetx	Ttx-t0	NoChg
1	61CA	101	10.1	-63	0.000	9.887	9.890	3
2	61DA	112	11.3	-58	0.005	9.870	9.865	2
3	61CC	68	6.9	-55	0.008	9.883	9.875	2
4	61DC	97	9.8	-62	0.018	9.872	9.854	2
5	61BC	49	5.4	-66	0.019	9.128	9.109	5
MEDIA		77.8	8.1	-60.5	NA	NA	NA	2.5

Tabla 14: Resultado experimento 2_1_b

90 grados

#	EPC Value	TotCnt	RDRate	RS1mx	Timet0	Timetx	Ttx-t0	NoChg
1	61DA	17	2.3	-62	0.000	7.543	7.543	27
2	61DC	108	10	-61	0.010	9.896	9.886	2
3	61BC	103	10.7	-66	0.033	9.607	9.574	33
4	61CA	60	6.2	-66	0.045	9.791	9.746	2
5	61CC	8	3.4	-65	0.099	2.469	2.370	99
MEDIA		22.8	4.6	-64	NA	NA	NA	4.6

Tabla 15: Resultado experimento 2_1_c

Comentarios: los ratios de lectura esclarecen que la posición más favorable es la de grado 0, es decir, cuando las ondas impactan de manera perpendicular contra la etiqueta.

A medida que se va modificando el ángulo de incidencia, el ratio de lectura es cada vez menor. Y llega al mínimo cuando la etiqueta está en una posición paralela a la dirección de las ondas.

Respecto al protocolo anticollisión, es notable la pérdida de lecturas sobre todo en la primera muestra, comparada con la muestra recogida en el experimento 1 con una sola etiqueta.

El ratio de lectura en el primer experimento llegaba a ser de 13.7 mientras que con varias etiquetas obtenemos una media de 6.98, lo que supone una pérdida de efectividad del 50%.

Resulta notable la diferencia de lecturas que existe entre unas etiquetas y otras. Se observa que las etiquetas con más lecturas son las que han estado por delante de las demás en el momento del experimento.

2. Comprobar la efectividad del protocolo anticolidión a una distancia límite

Siguiendo los pasos descritos en el apartado anterior, se obtuvieron los siguientes resultados:

NOTA

Dada la inconsistencia que presentaban las lecturas en 10 segundos a 5 metros (algunas etiquetas no llegaban a ser leídas), se ha decidido modificar el experimento: se realizará una única sesión de lectura de 40 segundos a una distancia de 5 metros con un ángulo de 0 grados para favorecer la lectura.

0 Grados (frente a frente)

#	EPC Value	TotCnt	RDRate	RS1mx	Timet0	Timetx	Ttx-t0	NoChg
1	61CA	75	2.0	-63	0.000	37.701	37.701	26
2	61BC	326	8.2	-52	0.034	39.868	39.834	1
3	61DC	211	5.3	-55	0.068	39.866	39.798	1
4	61CC	115	2.9	-52	0.713	39.873	39.161	1
5	61DA	128	3.3	-47	0.985	39.872	38.887	1
MEDIA		132.8	3.4	-53	NA	NA	NA	1.23

Tabla 16: Resultado experimento 2_2

Comentarios: las inconsistencias de lecturas durante el experimento han provocado que se deba cambiar el mismo. Se observaba que, durante las diferentes sesiones de 10 segundos, en ninguna de ellas se conseguía leer las cinco etiquetas juntas en la misma sesión.

Teniendo en cuenta los resultados del experimento 1, este comportamiento era de esperar. Sin embargo, es notable el mal rendimiento que ofrece el protocolo anticolidión en distancias límite.

En la primera parte del experimento actual, obtuvimos una media de lectura de 6.98. En esta parte del experimento se ha obtenido una media de 3.34, prácticamente el 50%. Teniendo en cuenta que el periodo de lectura ha sido cuatro veces superior y que las etiquetas estaban inmóviles, es razonable suponer en este punto que el funcionamiento del sistema es insuficiente para cumplir con los requisitos propuestos.

7.3 Experimento 3

7.3.1 Requisitos previos

Lectura satisfactoria de una etiqueta RFID, como se describe en el apartado “7.1 Experimento 1”.

Lectura satisfactoria de varias etiquetas RFID, como se describe en el apartado “7.2 Experimento 2”.

7.3.2 Objetivo

Probar la lectura correcta de varias etiquetas RFID en movimiento, en distintas posiciones, distancias y orientaciones. Se pretenden obtener la comparativa de los resultados del experimento 1 y experimento 2 con los resultados en los casos donde se tengan varias etiquetas en el rango de lectura de la antena, así como probar la efectividad del protocolo anticolidión del sistema con etiquetas en movimiento.

El experimento se considerará satisfactorio si, una vez conectados todos los sistemas en funcionamiento, se efectúa la lectura correcta de varias etiquetas RFID en movimiento, en distintas posiciones, distancias y orientaciones con un grado de efectividad aceptable.

7.3.3 Descripción

Este experimento se desarrollará en dos pasos:

1. Comprobar la efectividad del protocolo anticolidión a una distancia óptima con una etiqueta en movimiento

- a. Siguiendo con el experimento 1 y 2, situaremos una marca en la distancia óptima donde la señal de la antena produce lecturas a ritmo de una lectura por milisegundo. En nuestro caso, dos metros.
- b. Posicionaremos varias etiquetas de manera que atraviesen el campo electromagnético por la distancia marcada y se realizarán varias series de lecturas en distintas orientaciones. En nuestro caso se realizarán todas las sesiones a una orientación de 0 grados con respecto a la antena.
- c. Una vez se obtengan lecturas en la posición y orientación elegidas, comenzarán a recogerse los datos.
- d. En este caso, las sesiones comenzarán con la primera lectura de la etiqueta al entrar al campo electromagnético de la antena.
- e. La sesión finalizará cuando toda la etiqueta haya salido del campo electromagnético de la antena.

2. Comprobar la efectividad del protocolo anticolidión a una distancia límite con etiquetas en movimiento

- a. Siguiendo con el experimento 1 y 2, situaremos una marca en la distancia límite donde la señal de la antena produce lecturas a ritmo de una lectura por milisegundo. En nuestro caso, dos metros.
- b. Posicionaremos varias etiquetas de manera que atraviesen el campo electromagnético por la distancia marcada y se realizarán varias series de lecturas en distintas orientaciones. En nuestro caso se realizarán todas las sesiones a una orientación de 0 grados con respecto a la antena.
- c. Una vez se obtengan lecturas en la posición y orientación elegidas, comenzarán a recogerse los datos.
- d. En este caso, las sesiones comenzarán con la primera lectura de la primera etiqueta al entrar al campo electromagnético de la antena.
- e. La sesión finalizará cuando todas las etiquetas hayan salido del campo electromagnético de la antena.

7.3.4 Resultados

Para ambas partes del experimento, se utilizaron cuatro etiquetas disponibles, referenciadas como "BC", "CC", "DA" y "DC".

1. Comprobar la efectividad a una distancia óptima con una etiqueta en movimiento

Con la idea de acercar el proyecto al ámbito de una competición deportiva, se ha utilizado un coche de juguete al que se le ha pegado una etiqueta. El coche atravesará el campo electromagnético de un lado a otro en línea recta, pasando por la posición marcada como óptima. Se espera simular el comportamiento de un patinador atravesando la línea de meta durante una competición del estilo *patinaje en línea*.



Ilustración 56: Coche de juguete con etiqueta

Siguiendo los pasos descritos en el apartado anterior, se obtuvieron los siguientes resultados:

0 Grados (frente a frente)

#	EPC Value	TotCnt	RDRate	RS1mx	Timet0	Timetx	Ttx-t0	NoChg
1	61DA	4	13.4	-68	0.000	0.298	0.298	1

Tabla 17: Resultado experimento 3_1_a

0 Grados (frente a frente)

#	EPC Value	TotCnt	RDRate	RS1mx	Timet0	Timetx	Ttx-t0	NoChg
1	61DA	6	11.5	-68	0.000	0.522	0.523	2

Tabla 18: Resultado experimento 3_1_b

0 Grados (frente a frente)

#	EPC Value	TotCnt	RDRate	RS1mx	Timet0	Timetx	Ttx-t0	NoChg
1	61DA	6	22.3	-67	0.000	0.269	0.270	2

Tabla 19: Resultado experimento 3_1_c

Comentarios:

Comparando los resultados obtenidos de las tres sesiones con los resultados del experimento 2, podemos ver que la etiqueta es leída correctamente en todas las sesiones, aunque con una ligera descoordinación en el ratio de lectura, posiblemente provocada por las distintas velocidades que ha podido tomar el coche en cada sesión.

En el experimento dos el ratio de lectura con las etiquetas inmóviles frente a la antena era de 8.26. En este caso la media de las tres sesiones ha sido de 14.5, lo cual indica que las etiquetas en movimiento han sido leídas un menor número de veces, aunque con una mejor relación respecto al tiempo que han estado dentro del campo electromagnético.

2. Comprobar la efectividad del protocolo anticolidión a una distancia óptima con varias etiquetas en movimiento

Con la idea de acercar el proyecto al ámbito de una competición deportiva, se ha utilizado un coche de juguete al que se le han pegado varias etiquetas. El coche atravesará el campo electromagnético de un lado a otro en línea recta, pasando por la posición marcada como óptima. Se espera simular el comportamiento de varios patinadores atravesando la línea de meta en el mismo segundo durante una competición del estilo *patinaje en línea*.

El orden de entrada relativo de las etiquetas al campo electromagnético sería:

1. CC
2. BC
3. DC

Se debe tener en cuenta que la etiqueta BC está en una orientación de 90 grados respecto al plano horizontal (mirando hacia arriba).



Ilustración 57: coche de juguete con varias etiquetas

Siguiendo los pasos descritos en el apartado anterior, se obtuvieron los siguientes resultados:

#	EPC Value	TotCnt	RDRate	RS1mx	Timet0	Timetx	Ttx-t0	NoChg
1	61CC	29	17.3	-62	0.000	1.672	1.673	1
2	61BC	26	11.4	-60	0.010	2.299	2.289	10
3	61DC	10	25.5	-66	1.179	1.572	0.393	5
MEDIA		17.3	16.2	-62	NA	NA	NA	5.3

Tabla 20: Resultados experimento 3_2_a

#	EPC Value	TotCnt	RDRate	RS1mx	Timet0	Timetx	Ttx-t0	NoChg
1	61DC	16	24.1	-55	0.000	0.663	0.663	1
2	61CC	14	21.4	-69	0.006	0.661	0.655	6
3	61BC	1	0.0	-73	0.689	0.689	0.000	0
MEDIA		2.6	15.6	65	NA	NA	NA	2.3

Tabla 21: Resultados experimento 3_2_b

#	EPC Value	TotCnt	RDRate	RS1mx	Timet0	Timetx	Ttx-t0	NoChg
1	61DC	22	21.6	-54	0.000	1.018	1.018	3
2	61CC	21	21.2	-53	0.033	1.025	0.993	17
3	61BC	5	19.0	-69	0.763	1.027	0.264	13
MEDIA		16	20.6	-58	NA	NA	NA	11

Tabla 22: Resultados experimento 3_2_c

Comentarios:

Comparando con los resultados de los experimentos anteriores, podemos observar como el protocolo anticolidión no es efectivo para distancias óptimas. Habiendo posicionado tres etiquetas para atravesar el campo electromagnético, las tres han sido leídas, sin embargo, es relevante resaltar el orden en el que han sido leídas, el tiempo que ocurre entre la entrada de la primera etiqueta y de las siguientes y la inconsistencia general que se observa entre las tres sesiones realizadas donde, en la segunda sesión, una de las etiquetas solo fue leída una única vez.

8. CAPÍTULO VI: CONCLUSIÓN Y DISCUSIÓN

8.1 CONCLUSIÓN

Como hemos visto en el capítulo II de este documento, la tecnología de identificación por radio frecuencia es ampliamente utilizada en diversos entornos y situaciones, sobre todo en aquellos relacionados con comercio, inventario y logística. Esto demuestra que se puede adaptar prácticamente a casi cualquier tipo de demanda, pero los experimentos realizados con el objetivo de introducir la tecnología en el Patinaje en línea revelan que el RFID tiene una serie de limitaciones muy importantes a tener en cuenta antes de poder utilizarse en entornos competitivos.

- A la vista de los resultados, hemos observado que el protocolo anticolidión diseñado en la arquitectura de la tecnología, tiene problemas relevantes de reconocimiento de múltiples etiquetas, aun cuando estamos en la distancia óptima de reconocimiento de la antena. Si tenemos en cuenta que, en competiciones deportivas, varias etiquetas pueden llegar a desplazarse por el campo electromagnético rápidamente, pensamos que este problema es uno de los elementos primordiales que tendría que verse mejorado en la tecnología.
- Otro aspecto relacionado con el protocolo anticolidión es la inexactitud y aleatoriedad con la que parecen responder las etiquetas según van entrando en contacto con el campo electromagnético del sistema. Como se puede ver comparando las distintas sesiones de los experimentos 2 y 3, existen momentos en los que ciertas etiquetas responden de manera distinta, a pesar de realizar el mismo comportamiento.
- Los resultados indican que existen problemas de alcance y recepción para las etiquetas cuando estas no están favorables al sentido de las ondas electromagnéticas, aunque estas últimas vengan polarizadas circularmente, como ha sido el caso. Para que el sistema tenga un alcance mayor y una posible mejor recepción de las ondas emitidas, necesitamos que la antena tenga un ancho menor y más concentrado, tanto en el plano horizontal como en el vertical. De esta manera las ondas podrían ser direccionadas en un plano horizontal con mayor distancia y mejor rendimiento para la orientación de las etiquetas.
- Respecto a la colocación de la antena, hemos podido comprobar que las etiquetas ubicadas a una distancia más cercana del foco de la antena serán las primeras en ser reconocidas independientemente de que otra etiqueta esté dentro del alcance pero más alejada de la antena. Esto nos lleva a decir que hay que buscar una buena situación donde ubicar tanto la antena como las etiquetas, para que se puedan reconocer el mayor de número de etiquetas a la vez.

- La situación y el ambiente han sido igual de decisivos y determinantes que la calidad de los materiales. Los tres experimentos propuestos fueron realizados en dos sesiones con características similares, pero con condiciones distintas. Se puede ver cómo, aunque ambas fueron realizadas en ambientes indoor, los resultados muestran que las ondas electromagnéticas viajan más lejos y con mayor potencia cuanto más cerrado es el espacio. Esto puede deberse a la capacidad de reflexión de las ondas sobre objetos o superficies.
- En un tono positivo, la tecnología nos ha convencido para su uso en aquellas situaciones donde se usan actualmente de forma habitual. La capacidad de la tecnología RFID para reconocer objetos con identidades únicas de manera inequívoca es una perfecta característica para tareas de inventariado y logística, donde los objetos son leídos de manera pausada y no se requiere de la exactitud que se espera en entornos competitivos como son los torneos deportivos.

Gracias al experimento con el prototipo, es fácil observar porque esta tecnología está tan popularizada entre las tareas de inventariado o logística. En cortas distancias es completamente efectivo y dispone de multitud de virtudes a nivel de rendimiento y seguridad que hacen la tecnología prácticamente obligatoria de obtener.

Como conclusión final, respondiendo al apartado sobre los objetivos de este proyecto, teniendo en cuenta la inexperiencia de los autores sobre la tecnología y habiendo utilizado los materiales que se creían suficientes, queremos marcar que actualmente la tecnología no satisface los requisitos establecidos.

Como veremos en la discusión del siguiente apartado, creemos que la primera aproximación a la solución pasaría por añadir otra antena al sistema. Teniendo esto último en cuenta, el diseño propuesto no parece viable para su implantación en entornos competitivos, refiriéndonos concretamente a competiciones de carreras de patinaje en línea.

Sin embargo, creemos haber abierto una línea de aprendizaje para comenzar un proceso de investigación más profundo y amplio con el fin de poder adaptar la tecnología, no solo a las necesidades que se proponen en este documento, si no a las de cualquier otro entorno deportivo que requiera de medios tecnológicos para ofrecer más competitividad, fiabilidad y seguridad, y lograr así su implantación en este tipo de competiciones.

8.2 DISCUSIÓN

Los sistemas de identificación por radiofrecuencia se han popularizado en los últimos 30 años sobre todo en el uso de inventariado y detección de presencia.

El avance de las nuevas tecnologías busca mejorar la calidad de vida de las personas y ofrecer a estas nuevas formas de control. En el campo de la deportividad, los usuarios buscan recoger todo su rendimiento en una serie de datos que, en conjunto, les ayude a interpretar su eficiencia con el fin de mejorar esta y otras cualidades físicas.

En el caso del patinaje en línea, consideramos que este proyecto ha sido el primer pequeño paso para comenzar a estudiar el diseño de un sistema que permita la realización de este tipo de competiciones de una forma sencilla, rápida, segura y con unos resultados limpios.

Los resultados y conclusiones arrojados a lo largo de los apartados anteriores dejan algunas dudas sobre como esta tecnología es la más adecuada para este tipo de competición. Sin embargo, dadas las limitaciones reglamentarias impuestas por la competición, no encontramos ninguna alternativa más viable. Creemos que los problemas encontrados tienen solución y que este trabajo sirve como guía inicial para futuras líneas de investigación en este ámbito.

Al comienzo del proyecto, se investigó la tecnología y se emplearon materiales de un presupuesto más razonable con el objetivo de entender su funcionamiento y posibilidades. Este primer sistema prototipo dejó buenas sensaciones al ser capaz de realizar todas las tareas que planteábamos como necesarias. Sin embargo, creemos que el sistema experimental final, cuyo coste sobrepasaba el prototipo hasta en un 700%, debía haber ofrecido una calidad y rendimiento superiores.

Durante la realización de este proyecto, muchas dudas e ideas han ido surgiendo. También han aparecido algunas revelaciones que, de haber tenido un background en tecnología de radiofrecuencia, pudieran haber sido esquivadas. Pero también han surgido soluciones a nuestros problemas iniciales a lo largo de la investigación, aunque hemos sido incapaces de implementarlos.

En primer lugar, el corto e imprevisible alcance del campo electromagnético junto con el bajo ratio de lecturas cuando se encuentran varias etiquetas en movimiento.

La primera motivación por parte de la *Real federación española de patinaje* para apoyar el proyecto era obtener un sistema que les permitiese identificar que un corredor había pasado por la línea de meta, con el objetivo de simplificar las tareas del equipo de arbitraje.

Aunque por un lado el sistema ha demostrado ser capaz de comportarse de un modo satisfactorio para realizar esta tarea, por otro lado, es incapaz de dar una estimación del momento exacto en el que el participante ha atravesado la línea de meta, forzando al equipo de arbitraje a comprobar las imágenes obtenidas por la fotocélula.

Respecto a este problema, y observando el experimento 1_a, se pueden obtener los tiempos de la primera y última lectura de la etiqueta a su paso por el campo electromagnético (entrada y salida del campo). Sabiendo el diámetro de la circunferencia, podría deducirse tanto la velocidad como la posición intermedia, la cual representaría la línea de meta. Pero todos estos cálculos serían aproximados y requerirían de varias pruebas experimentales en diversas situaciones ambientales.

En general, muchas de las tareas triviales que realizan a día de hoy el equipo de árbitros y jueces mediante medios físicos, se verían enormemente agilizadas, pero seguirían existiendo grandes faltas que frenarían el avance de este tipo de competición en un ambiente más competitivo e internacional.

Es imposible no asemejar las necesidades del patinaje en línea con aquellas competiciones de tipo motor como la Formula 1 o el MotoGP que tienen los mismos requisitos. En ambos casos, como puede verse en la ilustración 38 del apartado 5.3, se utilizan transpondedores para marcar los tiempos de los vehículos al paso por un punto concreto de la pista (sectores). Estos transpondedores son el equivalente a una etiqueta activa, de un tamaño considerablemente superior al que nosotros hemos utilizado en nuestros experimentos. El tamaño, como vimos en las *restricciones del reglamento*, fue uno de los elementos restrictivos tenidos en cuenta en la elección de los materiales, puesto que se impide llevar cualquier tipo de objeto durante una carrera.

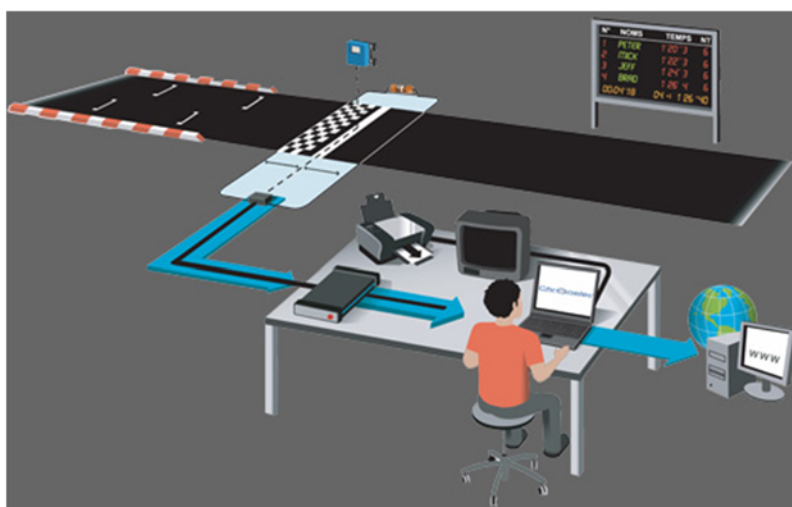


Ilustración 58: RFID en carreras de coches
<https://www.chronelec.com/en/solutions/rental-karting/>*

Si somos más restrictivos, la RFEP insistió en que la marca del tiempo al paso por la línea de meta debe darse según la punta del primer patín de cada patinador que atraviese la meta.

Otro ejemplo, es el de la carrera de maratones, donde los competidores o corredores atraviesan la línea de meta normalmente con varios segundos o minutos de diferencia entre unos y otros^X. En estos casos, se colocan antenas RFID a nivel del suelo, forzando a los participantes a pasar por encima de ella.



Ilustración 59: RFID en maratón

http://es.hopelandrfid.com/blog/uhf-rfid-lector-y-antena-para-el-sistema-de-cronometraje-de-carreras_b13

Los participantes son identificados con una etiqueta RFID atada a alguna de sus zapatillas (ver ilustración).



Ilustración 60: RFID en maratón_2

<http://www.tagingenieros.com/noticias/img/noticia-49-1.jpg>

Sin embargo, en situaciones de patinaje en línea, la antena establecida frenaría a los corredores y les supondría un peligro para su seguridad. Es uno de los motivos por los que pensamos que la tecnología es la adecuada, pero debe ser estudiada en diferentes situaciones para saber cuál es la mejor.

No nos vemos capaces de ofrecer una solución definitiva a este tipo de problemas, pero sabemos que los campos electromagnéticos generados por las antenas RFID son generalmente anchos en su origen y estrechos en sus distancias límites. Creemos que la solución pasa por reducir el ancho del campo electromagnético aumentando la potencia, a la vez que concentramos la energía del mismo campo en una sola dirección y en un solo plano.

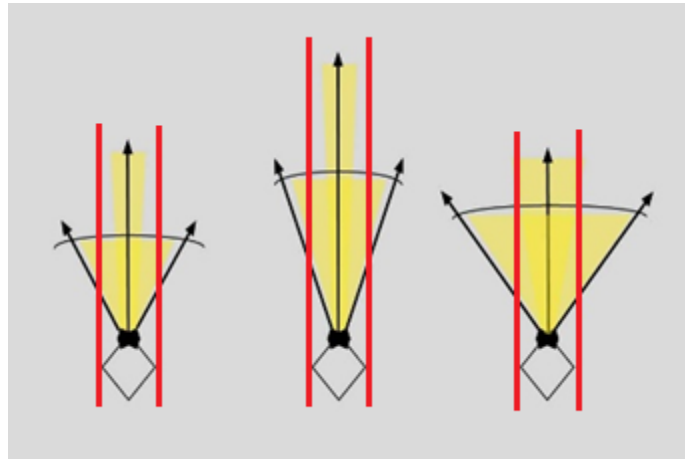


Ilustración 61: Control sobre el campo electromagnético

A lo largo de los últimos pasos de la experimentación, quedamos desconcertados y descontentos con el bajo e insuficiente rendimiento que nos ha ofrecido el protocolo anticolidión de este sistema, sobre todo en situaciones de varias etiquetas en movimiento. Hemos investigado acerca de los distintos tipos de protocolos anticolidión que pueden emplearse en sistemas RFID^{IX}, sin embargo hemos sido incapaces de averiguar cuál usa nuestro sistema actual. De nuevo, la falta de otros sistemas con los que comparar nos impide ver si es un comportamiento habitual en este tipo de sistemas, o por el contrario debía haber mejores opciones para implementarlo. En cualquier caso, la investigación realizada arrojó una idea que mejoraría este protocolo y el rendimiento del sistema en general: utilizar dos antenas.

Como se suele decir: más es mejor; sin embargo, en este caso existe una particularidad.

Para que un sistema de radiofrecuencia que utilice una antena con polarización circular mejore su rendimiento, se debe obtener otra de características similares y enfrenlarlas, de modo que sus campos electromagnéticos coincidan, pero no se obstruyan. Es decir, las dos antenas deben estar frente a frente, y deben tener la misma dirección de polarización. En teoría, no solo mejoraría el ratio de lectura de las etiquetas que atravesasen el campo, si no que posiblemente ampliarían la distancia efectiva de estas.

Sin lugar a dudas, la inexperiencia sobre el campo de investigación de la tecnología de radiofrecuencia ha sido el mayor obstáculo con el que este equipo de estudiantes se ha encontrado durante la realización de este proyecto. A pesar de la investigación realizada en la búsqueda de los materiales, no quedamos satisfechos con la elección de dichos materiales. Nunca perdimos la sensación de ir “a ciegas” durante el desarrollo del proyecto.

9. BIBLIOGRAFÍA

- I. Pool A. Tipler. *Física para la ciencia y la tecnología; Volumen 1 mecánica, oscilaciones y ondas termodinámicas*. 2008. ISBN 10: 8429143815 / ISBN 13: 9788429143812.
- II. Suzanne Smiley. "3 Guidelines For Choosing A Passive UHF RFID Antenna". 2014. <https://blog.atlasrfidstore.com/choose-right-rfid-antenna>.
- III. Suzanne Smiley. "RFID Antennas: Beamwidth & Directivity". 2016. <https://blog.atlasrfidstore.com/rfid-antennas-beamwidth-directivity>.
- IV. "RFID". (s.f.). Wikipedia, recuperado el 15 de Septiembre de 2017. <https://es.wikipedia.org/wiki/RFID>.
- V. Impinj.com. "How does RFID work?". <https://www.impinj.com/about-rfid/how-does-rfid-work/>.
- VI. Dipole.es. "¿Cómo funciona un Sistema RFID UHF?". 12 de Diciembre de 2016. <http://www.dipolerfid.es/es/blog/Como-Funciona-Sistema-RFID-UHF>.
- VII. Iso.org. "ISO/IEC 18000-63:2015 Information technology. Radio Frequency identification for item management. Part 63: Parameters for air interface communications at 860 MHz to 960 MHz Type C". Octubre de 2015.
- VIII. Nate Seidle. "Simultaneous RFID Tag Reader Hookup Guide". 2017. <https://learn.sparkfun.com/tutorials/simultaneous-rfid-tag-reader-hookup-guide>
- IX. Bueno Delgado, María Victoria; Pavón Mariño, Pablo. "Mecanismos de contienda que mejoran el rendimiento de los sistemas RFID pasivos UHF con múltiples lectores". ISSN: 1888-8356. Abril de 2013.
- X. Laurie Wiegler. "Fast Tracking: Measuring Advanced Sports Analytics With RFID". 18 de Abril de 2014. <https://blog.atlasrfidstore.com/fast-tracking-sports-analytics-rfid>.
- XI. Manuel Armenteros Gallardo, Pepu Hernández, Miguel Ángel Betancor. "Tecnologías aplicadas al deporte de alto rendimiento". 2008. http://www.csd.qob.es/csd/estaticos/documentos/50_150.pdf.
- XII. "RFID". (s.f.). Wikipedia, recuperado el 15 de Mayo de 2018. https://en.wikipedia.org/wiki/Radio-frequency_identification
- XIII. "Transponder Timing". (s.f.). Wikipedia, recuperado el 18 de Abril de 2018. https://en.wikipedia.org/wiki/Transponder_timing
- XIV. Kevin Bonsor & Wesley Fenlon. "How RFID works". <https://electronics.howstuffworks.com/gadgets/high-tech-gadgets/rfid.htm>
- XV. Epc-rfid.info. "What is RFID". <https://www.epc-rfid.info/rfid>
- XVI. Abr.com. "What is RFID". <http://www.abr.com/what-is-rfid-how-does-rfid-work/>
- XVII. Technovelgy.com. "What is RFID". <http://www.technovelgy.com/ct/technology-article.asp>
- XVIII. Rfidinc.com. "RFID Components & ABC". <http://rfidinc.com/rfid-101/>
- XIX. Margaret Rouse. "RFID (Radio Frequency Identification)". Diciembre 2017. <https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/RFID-radio-frequency-identification>
- XX. Rfidinsports.wordpress. "RFID". <https://rfidinsports.wordpress.com/>

- XXI. Zebra.com. "Zebra Sport Solution". <https://www.zebra.com/us/en/solutions/location-solutions/zebra-sport-solution.html>
- XXII. Preston McClellan. "RFID can change the fan experience for the better". 30 Octubre 2014. <http://www.sportingnews.com/other-sports/news/rfid-technology-fan-experience-sports-entertainment-lightning-lollapalooza-ryder-cup/1efs4pn6jger71vjqv53sp7kvk>
- XXIII. Esmeraldinsight.com. "Enhancing sports through RFID technology". 2008. <https://www.emeraldinsight.com/doi/abs/10.1108/IJMSM-09-02-2008-B008>
- XXIV. Tod Meisner. "RFID Applications in the Sporting World". 1 Diciembre 2016. <http://blog.vergepipemedia.com/rfid-applications-in-the-sporting-world>
- XXV. Rhett Moroses. "RFID Technology: Enhancing the Fan Experience in Sports". 11 Mayo 2017. <http://collethead.com/rfid-technology-enhancing-fan-experience-sports/>
- XXVI. Aigars Andersons, Siegfried Ritter. "Advanced RFID Applications for Sports Events Management: The Case of SPORTident in Latvia". Diciembre 2014. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050914015798>
- XXVII. David C. Wyld. "Sports 2.0: A Look at the Future of Sports in the Contexto f RFID's 'Weird New Media Revolution' ". 9 Septiembre 2006. <http://thesportjournal.org/article/sports-2-0-a-look-at-the-future-of-sports-in-the-context-of-rfids-weird-new-media-revolution/>
- XXVIII. George Hoffman, Lance Burnett. "RFID A GAME CHANGER IN THE SPORTING EVENTS & SPORTS VENUES SECTOR". <https://sportsvenuebusiness.com/index.php/2016/12/01/rfid-game-changer-sports-venue-sector/>
- XXIX. Madebyoomph.com. "RFID vs NFC the Key Differences". 17 Enero 2018. <https://blog.madebyoomph.com/blog/rfid-vs-nfc-the-key-differences>
- XXX. James Thrasher. "RFID vs NFC: What's the Difference?". 11 Octubre 2013. <https://blog.atlasrfidstore.com/rfid-vs-nfc>
- XXXI. Dean-boys.com. "Identification Friend or Foe (IFF) Systems". <http://www.dean-boys.com/extras/iff/iffqa.html>
- XXXII. Thalesgroup.com. "Identification friend or foe and more". 20 Junio 2017. <https://www.thalesgroup.com/en/worldwide/defence/news/identification-friend-or-foe-and-more>
- XXXIII. Globalsecurity.org. "Identification Friend or Foe". <https://www.globalsecurity.org/military/systems/aircraft/systems/iff.htm>
- XXXIV. Cryptomuseum.com. "The Thing, Great Seal Bug". <http://www.cryptomuseum.com/covert/bugs/thing/index.htm>
- XXXV. Scribd.com. "The Thing (Listening device)". <https://es.scribd.com/document/330797466/The-Thing-Listening-Device>
- XXXVI. Jim Donaldson. "RFID Gives Brick and Mortar Retailer Advantages Over Ecommerce". 25 Julio 2016. <https://www.mojix.com/rfid-brick-mortar-retailers-advantages/>
- XXXVII. Nedapidentification.com. "Understanding the confusing world of RFID tags and readers in access control".

<http://www.nedapidentification.com/news/insights/understanding-the-confusing-world-of-rfid-tags-and-readers-in-access-control.html>

- XXXVIII. Gaorfid.com. "RFID solutions for ID badges and access control". <http://qaorfid.com/access-control-rfid-system/>
- XXXIX. Suzanne Smiley. "Why RFID Access Control on a Jobsite is More Important Than You Think". 24 Junio 2015. <https://blog.atlasrfidstore.com/why-rfid-access-control-on-a-jobsite-is-more-important-than-you-think>
- XL. Laurie Wiegler. "MadChips How RFID is Reshaping Madison Avenue". 6 Enero 2014. <https://blog.atlasrfidstore.com/rfid-changing-advertising-madison-avenue>
- XLI. Diousa.com. "How to use RFID in Advertising". 28 Abril 2015. <https://diousa.com/blog/how-to-use-rfid-in-advertising/>
- XLII. Claire Swedberg. "Advertising Gets Personal With RFID System for Shoppers". 26 Septiembre 2014. <http://www.rfidjournal.com/articles/view?12208>
- XLIII. Claire Swedberg. "Outdoor Advertising Show Features UHF, NFC RFID Technologies". 30 Mayo 2017. <http://www.rfidjournal.com/articles/view?16165>
- XLIV. Ray Floyd. "RFID in Transportation". 18 Marzo 2014. <https://www.engineering.com/ElectronicsDesign/ElectronicsDesignArticles/ArticleID/7338/RFID-in-Transportation.aspx>
- XLV. Jim Donaldson. "RFID and IoT Bring Real Benefits to Transportation and Logistics". <https://www.mojix.com/rfid-iot-transportation-logistics/>
- XLVI. Laurie Lee. "The Things You May Not Know about the Microchip in Your Passport". <https://www.swiftpassportservices.com/blog/the-things-you-may-not-know-about-the-microchip-in-your-passport/>
- XLVII. Rfidjournal.com. "How Do RFID-based Toll-Collection System Work?". 30 Septiembre 2013. <http://www.rfidjournal.com/blogs/experts/entry?10743>
- XLVIII. Mr Rohan S. Kale. "Electronic Toll Collection (ETC) System." 20 Marzo 2016. <https://es.slideshare.net/rohankale05/automatic-toll-collection-system-presentation>
- XLIX. Suzzane Smiley. "Low Frequency RFID and Animal Identification". 15 Diciembre 2015. <https://blog.atlasrfidstore.com/low-frequency-rfid-and-animal-identification>
- L. Hidglobal.mx. "Identificación de animales". <https://www.hidglobal.mx/products/rfid-tags/identification-technologies/animal-id>
- LI. Richard Gray. "The surprising truth and myths about microchips implantation". 2 Agosto 2017. <http://www.bbc.com/capital/story/20170731-the-surprising-truths-and-myths-about-microchip-implants>
- LII. Nanalyze.com. "Who Makes the RFID Chip Implants for Humans?". <https://www.nanalyze.com/2017/08/who-makes-rfid-chip-implants-humans/>
- LIII. Suzanne Smiley. "7 Things You Can Track in Hospitals Using RFID". 21 Agosto 2017. <https://blog.atlasrfidstore.com/7-things-can-track-hospitals-using-rfid>

- LIV. Stephanie Baum. "5 ways the healthcare industry is implementing RFID technology". 5 Diciembre 2013. <https://medcitynews.com/2013/12/5-ways-hospitals-implementing-rfid-tags-emerging-trend-healthcare/>
- LV. Jim Donaldson. "RFID Means Better Patient Care & Lower Costs for the Healthcare Sector". 2 Noviembre 2017. <https://www.mojix.com/rfid-healthcare-sector/>
- LVI. Kcoyle.net. "Management of RFID in Libraries". <http://www.kcoyle.net/jal-31-5.html>
- LVII. 3mae.ae. "RFID 201: An introduction to using RFID technology in your library". http://solutions.3mae.ae/wps/portal/3M/en_AE/library-systems-EU/library-technologies/products/RFID-reader/?PC_Z7_U00M8B1A00O690INNEU2TA31C6000000_assetType=MMM_Article&PC_Z7_U00M8B1A00O690INNEU2TA31C6000000_assetId=1319241426366&PC_Z7_U00M8B1A00O690INNEU2TA31C6000000_univid=1319241426366
- LVIII. Neeraj Singh. "Application of RFID technology in libraries". Junio 2014. https://www.researchgate.net/publication/272576139_APPLICATION_OF_RFID_TECHNOLOGY_IN_LIBRARIES
- LIX. Museumnext.com. "RFID and its use in museums". <https://www.museumnext.com/insight/rfid-and-its-use-in-museums/>
- LX. Rfidjournal.com "How Is RFID Being Used for Archaeology and at Museums". <http://www.rfidjournal.com/blogs/experts/entry?11890>
- LXI. David Kravets. "Tracking school children with RFID tags? It's all about the benjamins". 9 Julio 2012. <https://www.wired.com/2012/09/rfid-chip-student-monitoring/>
- LXII. Northstar.global. "RFID technology in Schools". <http://northstar.global/rfid-school-bus-tracking-system/>
- LXIII. Ieyenews.com "Advantages of using RFID Attendance system in school". 13 Agosto 2017. <http://www.ieynews.com/wordpress/advantages-of-using-rfid-attendance-system-in-school/>
- LXIV. Schoolpixa.com. "How RFID in Schools Impact Education". <http://schoolpixa.com/rfid/blog/how-rfid-in-schools-impact-education/>
- LXV. Textile-id.com. "How RFID works". <https://www.textile-id.com/how-rfid-works-in-textile/>
- LXVI. Takbir Ahmed. "RFID in Textile". 1 Marzo 2018. <https://es.slideshare.net/TakbirAhmed/rfid-in-textile>
- LXVII. Wihresourcegroup.wordpress. "Smarter Trash: How Incentive Programs Can Motivate Participation in Recycling – WIH Resource Group". <https://wihresourcegroup.wordpress.com/tag/rfid-enhanced-payt/>
- LXVIII. Claire Swedberg. "In Illinois, RFID Makes It Easier for Residents to Pay As They Throw". 17 Agosto 2016. <http://www.rfidjournal.com/articles/view?14862>
- LXIX. Megan Greenwalt. "How RFID Technology is Evolving in the Waste and Recycling Industry". 4 Octubre 2017. <http://www.waste360.com/fleets-technology/how-rfid-technology-evolving-waste-and-recycling-industry>

- LXX. *IBM.com. "Telemetry scenarios: Radio Frequency Identification (RFID)".*
https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/en/SSFKSJ_7.5.0/com.ibm.mq.pro.doc/q002800.htm
- LXXI. *Profish-technology.be. "RFID Telemetry".* <https://www.profish-technology.be/en/page/rfid.html>

10. ANEXOS

10.1 Anexo 1: Impinj R220 Speedway-R

10.1.1 Guía de instalación & operaciones

https://support.impinj.com/hc/article_attachments/360000141590/Impinj_SpeedwayR_installation_and_operations_guide.pdf

10.1.2 Datasheet Speedway family

https://support.impinj.com/hc/article_attachments/115002039284/ProductBrief_Impinj_SpeedwayFamily_10.10.17_FINAL.pdf

10.1.3 Supported regions and geographies

<https://support.impinj.com/hc/en-us/articles/210927208-Supported-Regions-and-Geographies>

10.2 Anexo 2: Antena PAS69278P-30D43F

10.2.1 Datasheet PAS69278P

<https://assets.lairdtech.com/home/brandworld/files/ANT-DS-PAS69278P%20013015.pdf>

10.2.2 Frecuencias en antenas

Existen varios factores a tener en cuenta a la hora de elegir que antena es la más adecuada y cuáles son las características idóneas:

Banda de frecuencia: son los intervalos de frecuencias del espectro electromagnético asignados a distintos usos dentro de las radiocomunicaciones. Varían tanto en límites de la potencia de señal como en su uso y versatilidad.

- Low Frequency (LF): cubre las frecuencias de 30 a 300kHz. Sirve para una distancia de lectura corta de unos 10 cm y tiene una velocidad de lectura más baja que las frecuencias más altas, pero no es muy sensible a interferencias de ondas de radio. Las aplicaciones RFID LF son, entre otras cosas, para controles de acceso.
- High Frequency (HF): cubre las frecuencias entre 3 y 30MHz. La mayoría de los sistemas RFID HF tienen una distancia de lectura de entre 10 cm y 1 m. Los sistemas de HF son relativamente sensibles a las interferencias y por

ello se usa a menudo en el control de tarjetas, pago, transferencia de datos y tecnología de tarjetas de proximidad/de paso.

- Ultra High Frequency (UHF): cubre las frecuencias de 300 MHz a 3 GHz. Los sistemas que cumplen la norma UHF Gen2 utilizan una banda de 860 a 960 MHz. La distancia de lectura de sistemas pasivos de UHF puede llegar a los 12 m, y tiene una transferencia de datos más rápida que LF o HF. También soporta la lectura de múltiples etiquetas (es decir, lectura en el mismo instante de varias etiquetas). La mayoría de los nuevos proyectos RFID utilizan esta última banda de frecuencia.

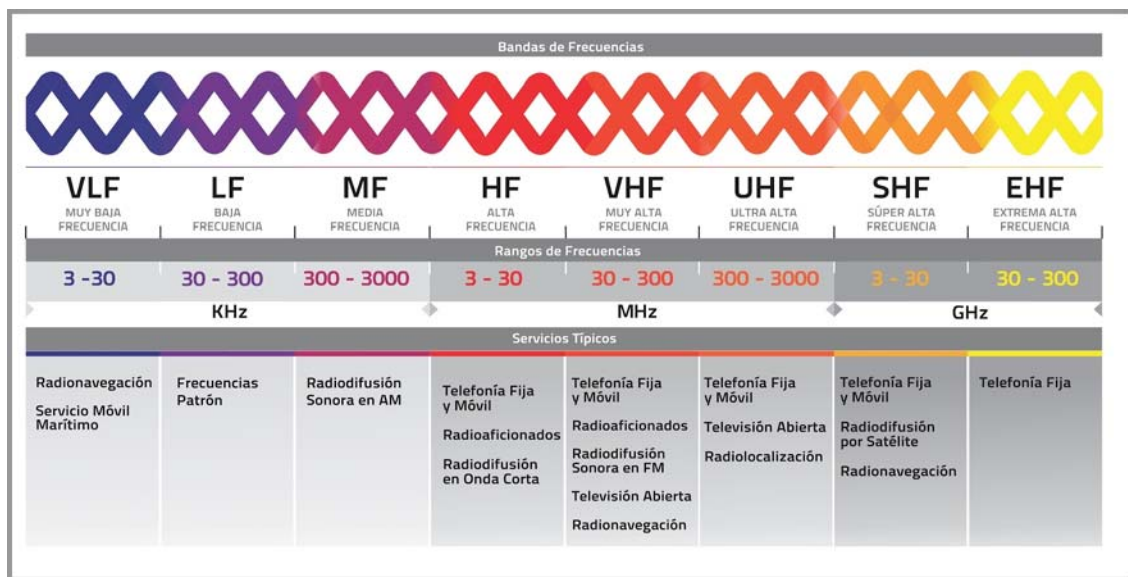


Ilustración 62: Rangos de frecuencias

10.3 Anexo 3: Etiquetas

10.3.1 Datasheet WRL 14147

https://media.digikey.com/pdf/Data%20Sheets/Sparkfun%20PDFs/WRL_14147_Web.pdf

10.4 Anexo 4: Conectores

10.4.1 Datasheet adaptador coaxial 4-3 10 Macho a Hembra N 6GHz

<https://docs-emea.rs-online.com/webdocs/151b/0900766b8151be3a.pdf>

10.4.2 Datasheet adaptador coaxial RP-TNC a N Macho

http://www.l-com.com/multimedia/eng_drawings/AXA-NM RTP.pdf

10.5 Anexo 5: Reglamento patinaje en línea



PV-Reglamento
19-07-14.pdf

10.6 Anexo 6: M6E Nano RFID Reader

10.6.1 Datasheet M6E Nano

<https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/ID/NANO-final-12Mar2015.pdf>

10.6.2 Product Page

<http://www.thingmagic.com/index.php/embedded-rfid-readers/thingmagic-nano-module>

10.6.3 Simultaneous RFID Tag Reader Hookup Guide

https://learn.sparkfun.com/tutorials/simultaneous-rfid-tag-reader-hookup-guide?_ga=2.88884760.2023876281.1528214989-1973864120.1526402589

10.6.4 GitHub Arduino Library

https://github.com/sparkfun/SparkFun_Simultaneous_RFID_Tag_Reader_Library

10.6.5 GitHub Design Files

https://github.com/sparkfun/Simultaneous_RFID_Tag_Reader

10.7 Anexo 7: Arduino UNO R3

10.7.1 Arduino IDE

<https://www.arduino.cc/en/Main/Software>

10.7.2 Product & Information

<https://store.arduino.cc/arduino-uno-rev3>

11. GLOSARIO

- **CSMA-CD:** (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection*) : Acceso múltiple con escucha de portadora y detección de colisiones. Es un algoritmo de control de acceso al medio compartido, utilizado principalmente en las redes Ethernet.
- **EPC:** (*Electronic Product Code*) Código Electrónico del Producto: es un número único que permite identificar de manera unívoca un objeto respecto a los demás.
- **EU:** (*European Union*), referencia a la Unión Europea.
- **FCC:** (*Federal Communications Commission*) La Comisión Federal de Comunicaciones, es una agencia de Estados Unidos encargada de la regulación de las telecomunicaciones interestatales e internacionales.
- **Forfait:** Abono de precio fijo que permite a quien lo adquiere hacer uso libre de unas instalaciones, especialmente de esquí.
- **ICAO:** (*International Civil Aviation Organization*) Organización de Aviación Civil Internacional: Extracto sacado de la página web del propio organismo: Es un organismo especializado de la ONU encargado de ejercer la administración y velar por la aplicación del Convenio sobre Aviación Civil Internacional.
- **ISO/IEC:** ISO (*International Organization for Standardization*) e IEC (*International Electrotechnical Commission*):
 - **ISO:** Organización encargada de elaborar estándares internacionales.
 - **IEC:** Organización encargada de elaborar, aplicar y mejorar las normas que se aplican en los campos eléctricos, electrónicos y las tecnologías relacionadas.
- **IoT:** (Internet of Things) Internet de las cosas: se conoce como añadir una conexión digital a los objetos cotidianos.
- **NFC:** (Near Field Communication)
- **OR:** (Operation Room) Sala de operaciones de un hospital
- **POE:** (Power Over Ethernet): suministro de alimentación a través de un cable ethernet a dispositivos electrónicos sustituyendo la tradicional toma de corriente.
- **RFEP:** Real Federación Española de Patinaje
- **RFID:** (Radio Frequency Identifier) Identificación por radiofrecuencia.
- **TAG:** Etiqueta RFID
- **Transpondedor:** Aparato que emite una señal a una frecuencia determinada cuando lo estimula otra señal externa apropiada.
- **US:** (United States), referencia al país Estados Unidos.

- **V.A.R.** (Video Assistant Referee): Árbitro asistente de vídeo o vídeo arbitraje es un sistema utilizado en fútbol que le da asistencia a la hora de tomar decisiones al árbitro durante el partido.