

GESTIÓN INTELIGENTE EN LA E/S EN CENTROS
LOGÍSTICOS AVANZADOS
SMART MANAGEMENT OF I/O IN ADVANCED LOGISTICS
CENTERS

MÁSTER EN INGENIERÍA INFORMÁTICA
FACULTAD DE INFORMÁTICA
UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID



Trabajo de Fin de Máster
Curso 2018/2019

Autor:
Iván Aguilera Calle

Directores:
Alberto del Barrio García
Guillermo Botella Juan

GESTIÓN INTELIGENTE EN LA E/S EN CENTROS
LOGÍSTICOS AVANZADOS
SMART MANAGEMENT OF I/O IN ADVANCED LOGISTICS
CENTERS

Trabajo de Fin de Máster en Ingeniería Informática
Departamento de Arquitectura de Computadores y Automática

Autor:
Iván Aguilera Calle

Directores:
Alberto del Barrio García
Guillermo Botella Juan

Convocatoria: Septiembre 2019
Calificación: 9.5

Máster en Ingeniería Informática
Facultad de Informática
Universidad Complutense de Madrid

30 de SEPTIEMBRE de 2019

Agradecimientos

En primer lugar, quiero agradecer especialmente a mis directores, Alberto del Barrio García y Guillermo Botella Juan, por haber confiado en mí para la realización de este TFM y su plena disposición, colaboración, capacidad y conocimiento para resolver cualquier problema surgido durante la realización del mismo.

En segundo lugar, quiero agradecer al excelente personal docente e investigador de la Facultad de Informática por haberme formado en los distintos conocimientos que he adquirido durante todos estos años como estudiante, así como, las distintas habilidades y valores que han contribuido a hacerme crecer y mejorar, tanto personal como profesionalmente. Así mismo, también quiero dar las gracias al personal de la biblioteca de la Facultad de Informática y de Físicas por haberme animado durante todos estos años para seguir avanzando por este largo e intenso, pero satisfactorio camino.

También quiero expresar mi agradecimiento a Telefónica por haber confiado en mí como profesional y haberme dado la oportunidad de entrar a formar parte de un gran equipo de profesionales, pero sobre todo, de grandes personas.

Agradezco a mis amigos y compañeros por todos los momentos que hemos compartido juntos, por apoyarme y por concederme ese gran tesoro que significa para mí su amistad.

Por último y especialmente, quiero agradecer a todos mis familiares (presentes y ya no presentes) por haberme apoyado, por haber confiado en mí siempre, por orientarme en las decisiones que he tomado a lo largo de mi vida y por haberme ayudado a superar los momentos más difíciles de la misma.

A todos ellos, les estoy eterna e infinitamente agradecido de por vida.

Muchas gracias a todos!!! 😊😊

Resumen

Desde hace varios años, el interés por la utilización de la tecnología de identificación por radiofrecuencia (RFID) ha crecido de forma exponencial debido principalmente a su flexibilidad para ser aplicada en distintas áreas de forma conjunta con dispositivos IoT, y a su bajo coste de implantación en relación a todos los beneficios inherentes que aporta esta tecnología: automatización de procesos industriales y ahorro de costes/tiempos.

El presente trabajo se centra en profundizar en los distintos aspectos teóricos y prácticos de la tecnología RFID (UHF) que implementa el estándar EPCGen2. De esta forma, el trabajo se encuentra compuesto por una investigación profunda en los distintos aspectos y técnicas en los que se basa esta tecnología, por una fase de experimentación y análisis detallado de resultados, y por último, el desarrollo de una aplicación que simula el uso de un sistema RFID en un tienda o centro logístico con el objetivo de mostrar cómo de práctica y útil es la utilización de esta tecnología.

Palabras clave

RFID, UHF, EPCGen2, IoT-RFID, Análisis, Gestión de Inventario, Centro Logístico, Seguridad, Salud, Algoritmos Anti-Colisiones

Abstract

Recently, the interest for the use of the Radio Frequency Identification (RFID) technology has increased exponentially mainly due to its flexibility to be used in different areas with IoT devices and to its low-cost at the deployment compared to all advantages and profits that are generated when this technology is used: industrial processes automation and the lower costs and lower work times.

This work aims at going deeper into the different teorical and practical aspects of RFID technology (UHF) implemented by EPCGen2 standard. So, this work includes: a deeper research in aspects and techniques in which this technology is based, an experimentation and a detailed analysis phase, and finally, the development of an app that simulates the use of a RFID system in the environment of a shop or logistic center with the aim to show how much useful this technology is.

Keywords

RFID, UHF, EPCGen2, IoT-RFID, RFID Analysis, Inventory Management, Logistic Center, Security, Health, Anti-Collision Algorithms

Índice general

Índice	I
Siglas	IV
List of Figures	VI
List of Tables	X
1. Introducción	1
1.1. Introducción a la Tecnología RFID	1
1.2. Motivación	5
1.3. Objetivos	6
1.4. Plan de trabajo	6
1.5. Estructura del documento	7
2. Estado del arte	9
2.1. Importancia de la tecnología RFID	9
2.2. Tecnología RFID	11
2.2.1. Elementos básicos de un sistema logístico RFID	11
2.3. Utilidades de la tecnología RFID	19
2.4. Aspectos relevantes de la tecnología RFID	26
2.4.1. Protocolo EPCglobal Generation 2 (Gen2)	26
2.4.2. Seguridad	30
2.4.3. Control de colisiones	33
2.4.4. Impacto en la salud	41

3. RFID: Preliminares	43
3.1. Entorno	43
3.1.1. Tag RFID UHF - Chip Alien H3 AZ9662	43
3.1.2. Lector RFID UHF - Impinj Speedway-Revolution R220	45
3.1.3. Antena Laird PAS69278P-30D43F-SN1612002	46
3.1.4. Otros	48
3.2. Pruebas y resultados	49
3.2.1. Pruebas - TID	49
3.2.2. Pruebas - EPC	50
3.2.3. Pruebas - User Memory	55
3.2.4. Pruebas - Reserved Memory	58
4. Experimentación - Análisis de resultados	63
4.1. Entorno y objetivos	63
4.2. Etiquetas Fijas - experimentación y análisis	66
4.2.1. Metodología de las pruebas	67
4.2.2. Interiores - experimentación y análisis de resultados	71
4.2.3. Exteriores - experimentación y análisis de resultados	93
4.3. Etiquetas móviles - experimentación y análisis	96
4.3.1. Metodología de las pruebas	96
4.3.2. Interiores - experimentación y análisis de resultados	98
4.4. Conclusiones generales de la experimentación	100
5. Implementación del sistema control logístico - App RFIDCenter	103
5.1. Proceso de diseño	103
5.1.1. Escenario	103
5.1.2. Diagrama de casos de uso y requisitos	104
5.2. Arquitectura del sistema	109

5.3. App RFIDCenter - Android	111
6. Conclusiones y trabajo futuro	116
6.1. Conclusiones	116
6.2. Trabajo futuro	118
7. Introduction	119
7.1. Introduction to RFID Technology	119
7.2. Motivation	122
7.3. Targets	123
7.4. Work Plan	124
7.5. Document Structure	125
8. Conclusions and future work	127
8.1. Conclusions	127
8.2. Future Work	129
Bibliografía	129
A. Datos de las gráficas del Capítulo 4	133

Siglas

AOA Angle of Arrival. 23

EPC Electronic Product Code. 3, 16, 121

FCC Federal Communications Commission. 41

FSM Finite State Machine. 27

IFF Identify Friend or Foe. 2, 119

IoT Internet of Things. 11

LLRP Low Level Reader Protocol. 45

POE Power over Ethernet. 48

RFID Radio Frequency Identification. 9, 11

RNG Random Number Generator. 38

RSSI Received Signal Strength Indication. 20, 21, 23

SAR Specific Absorption Rate. 41

SHF Super High Frequency. 12

TDOA Time Difference of Arrival. 23

TOF Time of Flight. 23

UAV Unmanned Aerial Vehicles. 19, 23, 25

UHF Ultra High Frequency. 3, 12, 121

WSN Wireless Sensor Network. 25

Lista de figuras

1.1. Movimientos Roll, Pitch y Yaw de una aeronave	2
2.1. Beneficios económicos RFID en el mercado global	10
2.2. Infraestructura genérica sistema RFID	11
2.3. Estructura tag RFID	13
2.4. Inductancia de una antena RFID	14
2.5. Estructura de la memoria de un tag RFID	17
2.6. Lector RFID Impinj R200	18
2.7. Inventario RFID-UAV	20
2.8. Configuración experimentación para extracción de medidas utilizando distintos materiales	21
2.9. Intervalos de RSSI para diferentes materiales	22
2.10. Heat Map de un jugador en el campo de fútbol - RFID	23
2.11. Tag RFID activo con sensores	26
2.12. Máquina de estados Gen2 RFID tag	28
2.13. Algoritmo anti-colisiones ALOHA	34
2.14. Algoritmo anti-colisiones Slotted-ALOHA	35
2.15. Algoritmo anti-colisiones Framed Slotted ALOHA	36
2.16. Algoritmo anti-colisiones Binary Tree	38
2.17. Algoritmo Q-Select - Elección del parámetro Q	39
2.18. Comparación entre FSA y DFSA	40
2.19. Comparación entre DFSA y Binary Tree	41
2.20. Relación entre SAR (W/kg) y Potencia (W) a distancias de 10cm y 100cm	42

3.1. Tag RFID Alien H3 AZ9662	44
3.2. Lector RFID Impinj Speedway-Revolution R220	46
3.3. Antena Laird PAS69278P-30D43F-SN1612002	46
3.4. Adaptador coaxial de 4.3-10 Macho a N Hembra de 6GHz y adaptador coaxial RP-TNC Macho a N Macho 4.3-10	47
3.5. Fuente de alimentación Power over Ethernet (POE)	48
3.6. Pruebas de lectura sobre área de memoria TID - tag RFID	49
3.7. Pruebas de lectura sobre área de memoria EPC - tag RFID	50
3.8. Pruebas de lectura sobre área de memoria EPC - tag RFID	51
3.9. Pruebas de escritura sobre área de memoria EPC - tag RFID	52
3.10. Pruebas de escritura sobre área de memoria EPC - tag RFID	53
3.11. Pruebas de escritura sobre área de memoria EPC - tag RFID	53
3.12. Pruebas de escritura sobre área de memoria EPC - tag RFID	54
3.13. Pruebas de lectura sobre área de memoria User - tag RFID	55
3.14. Pruebas de escritura sobre área de memoria User - tag RFID	56
3.15. Pruebas de escritura sobre área de memoria User - tag RFID	57
3.16. Pruebas de lectura sobre área de memoria Reserved - tag RFID	58
3.17. Pruebas de escritura sobre área de memoria Reserved - tag RFID	59
3.18. Pruebas de escritura sobre área de memoria Reserved - tag RFID	60
3.19. Código C# para cambiar el Access Password de forma segura	61
3.20. Pruebas de locking sobre área de memoria Reserved - tag RFID	62
3.21. Pruebas de locking sobre área de memoria Reserved - tag RFID	62
4.1. Equipamiento utilizado para las pruebas en Interior y Exterior con 1 Antena	64
4.2. Equipamiento utilizado para las pruebas - Fijo y Móvil	65
4.3. Equipamiento utilizado para las pruebas en Interior y Exterior con 2 Antenas	66
4.4. Estructura de un fichero de muestra de datos	69
4.5. Estructura del dataframe tras el procesado	71

4.6. Relación RSSI medio/Distancia - Interior - 1 Antena	72
4.7. Relación RSSI medio/Potencia - Interior - 1 Antena	73
4.8. Relación RSSI medio/Etiquetas - Interior - 1 Antena	75
4.9. Relación Ratio Etiquetas Leídas/Distancia - Interior - 1 Antena	76
4.10. Relación Ratio Etiquetas Leídas/Potencia - Interior - 1 Antena	78
4.11. Relación Ratio Etiquetas Leídas/Etiquetas - Interior - 1 Antena	80
4.12. Relación Tiempo entre lecturas Medio/Distancia - Interior - 1 Antena	82
4.13. Relación Tiempo entre lecturas Medio/Potencia - Interior - 1 Antena	84
4.14. Relación Tiempo entre lecturas Medio/Etiquetas - Interior - 1 Antena	85
4.15. Comparación RSSI medio - Interior - 1 y 2 Antenas	88
4.16. Comparación Ratio medio Etiquetas Leídas - Interior - 1 y 2 Antenas	90
4.17. Comparación Tiempo medio entre lecturas de Etiquetas - Interior - 1 y 2 Antenas	91
4.18. Comparación RSSI medio - Exterior e Interior - 1 y 2 Antenas	93
4.19. Comparación Ratio medio Etiquetas Leídas - Exterior e Interior - 1 y 2 Antenas	94
4.20. Comparación Tiempo medio entre lecturas de Etiquetas - Exterior e Interior - 1 y 2 Antenas	95
4.21. Productos etiquetados con RFID	96
4.22. Entorno en pruebas de etiquetas móviles	97
4.23. Productos seleccionados embolsados	98
4.24. Comparación Ratio Etiquetas Leídas - Mov. - Interior - 1 y 2 Antenas	99
5.1. Diagrama de casos de uso RFIDCenter	105
5.2. Arquitectura RFIDCenter	109
5.3. RFID Center - Inicio	112
5.4. RFID Center - Pestaña Historial	113
5.5. RFID Center - Pestaña ScanGo	114
5.6. RFID Center - Pestaña Tagger	115

7.1. Roll, Pitch and Yaw movements of an aircraft	120
---	-----

Lista de tablas

2.1. Bandas de frecuencias RFID	12
2.2. Tiempos de comunicación para comandos del protocolo Gen2	30
2.3. Tiempos crackeo de Access y Kill Password	33
5.1. REQ1. Visualizar Historial de Compras	106
5.2. REQ2. Detectar Productos	107
5.3. REQ3. Etiquetar Productos	108
A.1. Relación RSSI Medio/Distancia - Interior - 1 Antena	134
A.2. Relación RSSI Medio/Distancia - Desglose por Potencia (dBm) - Interior - 1 Antena	134
A.3. Relación RSSI Medio/Distancia - Desglose por Etiquetas - Interior - 1 Antena	134
A.4. Relación RSSI Medio/Potencia - Interior - 1 Antena	135
A.5. Relación RSSI Medio/Potencia - Desglose por Distancia - Interior - 1 Antena	135
A.6. Relación RSSI Medio/Potencia - Desglose por Etiquetas - Interior - 1 Antena	135
A.7. Relación RSSI Medio/Etiquetas - Interior - 1 Antena	136
A.8. Relación RSSI Medio/Etiquetas - Desglose por Distancia - Interior - 1 Antena	136
A.9. Relación RSSI Medio/Etiquetas - Desglose por Potencias - Interior - 1 Antena	136
A.10. Relación Ratio Etiquetas leídas/Distancia - Interior - 1 Antena	137
A.11. Relación Ratio Etiquetas leídas/Distancia - Desglose por Etiquetas - Interior - 1 Antena	137
A.12. Rel. Ratio Etiq. leídas/Distancia - Desglose por Potencias - Interior - 1 Antena	138
A.13. Relación Ratio Etiquetas leídas/Potencia - Interior - 1 Antena	138

A.14.Relación Ratio Etiquetas leídas/Potencia - Desglose por Etiquetas - Interior - 1 Antena	139
A.15.Rel. Ratio Etiquetas leídas/Etiquetas - Interior - 1 Antena	139
A.16.Rel. Ratio Etiquetas leídas/Etiquetas - Desg. por Potencia - Interior - 1 Antena	140
A.17.Rel. Ratio Etiquetas leídas/Etiquetas - Desg. por Distancia - Interior - 1 Antena	140
A.18.Rel. Tiempo entre lecturas Medio/Distancia - Interior - 1 Antena	140
A.19.Rel. Tiempo entre lecturas Medio/Distancia - Desg. por Potencia - Interior - 1 Antena	141
A.20.Rel. Tiempo entre lecturas Medio/Distancia - Desg. por Etiquetas - Interior - 1 Antena	141
A.21.Rel. Tiempo entre lecturas Medio/Potencia - Interior - 1 Antena	142
A.22.Rel. Tiempo entre lecturas Medio/Potencia - Desg. por Distancia - Interior - 1 Antena	142
A.23.Rel. Tiempo entre lecturas Medio/Potencia - Desg. por Etiquetas - Interior - 1 Antena	143
A.24.Rel. Tiempo entre lecturas Medio/Etiquetas - Interior - 1 Antena	143
A.25.Rel. Tiempo entre lecturas Medio/Etiquetas - Desg. por Distancia - Interior - 1 Antena	143
A.26.Rel. Tiempo entre lecturas Medio/Etiquetas - Desg. por Potencia - Interior - 1 Antena	144
A.27.Relación RSSI Medio/Distancia - Interior - 2 Antenas	144
A.28.Relación RSSI Medio/Distancia - Desglose por Potencia (dBm) - Interior - 2 Antenas	144
A.29.Relación RSSI Medio/Distancia - Desglose por Etiquetas - Interior - 2 Antenas	145
A.30.Relación RSSI Medio/Potencia - Interior - 2 Antenas	145
A.31.Relación RSSI Medio/Potencia - Desglose por Distancia - Interior - 2 Antenas	145
A.32.Relación RSSI Medio/Potencia - Desglose por Etiquetas - Interior - 2 Antenas	146

A.33.Relación RSSI Medio/Etiquetas - Interior - 2 Antenas	146
A.34.Relación RSSI Medio/Etiquetas - Desglose por Distancia - Interior - 2 Antenas	146
A.35.Relación RSSI Medio/Etiquetas - Desglose por Potencias - Interior - 2 Antenas	147
A.36.Relación Ratio Etiquetas leídas/Distancia - Interior - 2 Antenas	147
A.37.Relación Ratio Etiquetas leídas/Distancia - Desglose por Etiquetas - Interior - 2 Antenas	148
A.38.Rel. Ratio Etiq. leídas/Distancia - Desglose por Potencias - Interior - 2 Antenas	148
A.39.Relación Ratio Etiquetas leídas/Potencia - Interior - 2 Antenas	149
A.40.Relación Ratio Etiquetas leídas/Potencia - Desglose por Etiquetas - Interior - 2 Antenas	149
A.41.Rel. Ratio Etiquetas leídas/Etiquetas - Interior - 2 Antenas	150
A.42.Rel. Ratio Etiquetas leídas/Etiquetas - Desg. por Potencia - Interior - 2 Antenas	150
A.43.Rel. Ratio Etiquetas leídas/Etiquetas - Desg. por Distancia - Interior - 2 Antenas	150
A.44.Rel. Tiempo entre lecturas Medio/Distancia - Interior - 2 Antenas	151
A.45.Rel. Tiempo entre lecturas Medio/Distancia - Desg. por Potencia - Interior - 2 Antenas	151
A.46.Rel. Tiempo entre lecturas Medio/Distancia - Desg. por Etiquetas - Interior - 2 Antenas	151
A.47.Rel. Tiempo entre lecturas Medio/Potencia - Interior - 2 Antenas	152
A.48.Rel. Tiempo entre lecturas Medio/Potencia - Desg. por Distancia - Interior - 2 Antenas	152
A.49.Rel. Tiempo entre lecturas Medio/Potencia - Desg. por Etiquetas - Interior - 2 Antenas	153
A.50.Rel. Tiempo entre lecturas Medio/Etiquetas - Interior - 2 Antenas	153
A.51.Rel. Tiempo entre lecturas Medio/Etiquetas - Desg. por Distancia - Interior - 2 Antenas	153

A.52.Rel. Tiempo entre lecturas Medio/Etiquetas - Desg. por Potencia - Interior - 2 Antenas	154
A.53.Relación RSSI Medio/Distancia - Exterior - 1 Antena	154
A.54.Relación RSSI Medio/Distancia - Desglose por Potencia (dBm) - Exterior - 1 Antena	154
A.55.Relación RSSI Medio/Distancia - Desglose por Etiquetas - Exterior - 1 Antena	155
A.56.Relación RSSI Medio/Potencia - Exterior - 1 Antena	155
A.57.Relación RSSI Medio/Potencia - Desglose por Distancia - Exterior - 1 Antena	155
A.58.Relación RSSI Medio/Potencia - Desglose por Etiquetas - Exterior - 1 Antena	156
A.59.Relación RSSI Medio/Etiquetas - Exterior - 1 Antena	156
A.60.Relación RSSI Medio/Etiquetas - Desglose por Distancia - Exterior - 1 Antena	156
A.61.Relación RSSI Medio/Etiquetas - Desglose por Potencias - Exterior - 1 Antena	157
A.62.Relación Ratio Etiquetas leídas/Distancia - Exterior - 1 Antena	157
A.63.Relación Ratio Etiquetas leídas/Distancia - Desglose por Etiquetas - Exterior - 1 Antena	158
A.64.Rel. Ratio Etiq. leídas/Distancia - Desglose por Potencias - Exterior - 1 Antena	158
A.65.Relación Ratio Etiquetas leídas/Potencia - Exterior - 1 Antena	159
A.66.Relación Ratio Etiquetas leídas/Potencia - Desglose por Etiquetas - Exterior - 1 Antena	159
A.67.Rel. Ratio Etiquetas leídas/Etiquetas - Exterior - 1 Antena	160
A.68.Rel. Ratio Etiquetas leídas/Etiquetas - Desg. por Potencia - Exterior - 1 Antena	160
A.69.Rel. Ratio Etiquetas leídas/Etiquetas - Desg. por Distancia - Exterior - 1 Antena	160
A.70.Rel. Tiempo entre lecturas Medio/Distancia - Exterior - 1 Antena	161
A.71.Rel. Tiempo entre lecturas Medio/Distancia - Desg. por Potencia - Exterior - 1 Antena	161

A.72.Rel. Tiempo entre lecturas Medio/Distancia - Desg. por Etiquetas - Exterior - 1 Antena	161
A.73.Rel. Tiempo entre lecturas Medio/Potencia - Exterior - 1 Antena	162
A.74.Rel. Tiempo entre lecturas Medio/Potencia - Desg. por Distancia - Exterior - 1 Antena	162
A.75.Rel. Tiempo entre lecturas Medio/Potencia - Desg. por Etiquetas - Exterior - 1 Antena	163
A.76.Rel. Tiempo entre lecturas Medio/Etiquetas - Exterior - 1 Antena	163
A.77.Rel. Tiempo entre lecturas Medio/Etiquetas - Desg. por Distancia - Exterior - 1 Antena	163
A.78.Rel. Tiempo entre lecturas Medio/Etiquetas - Desg. por Potencia - Exterior - 1 Antena	164
A.79.Relación RSSI Medio/Distancia - Exterior - 2 Antenas	164
A.80.Relación RSSI Medio/Distancia - Desglose por Potencia (dBm) - Exterior - 2 Antenas	164
A.81.Relación RSSI Medio/Distancia - Desglose por Etiquetas - Exterior - 2 Antenas	165
A.82.Relación RSSI Medio/Potencia - Exterior - 2 Antenas	165
A.83.Relación RSSI Medio/Potencia - Desglose por Distancia - Exterior - 2 Antenas	166
A.84.Relación RSSI Medio/Potencia - Desglose por Etiquetas - Exterior - 2 Antenas	166
A.85.Relación RSSI Medio/Etiquetas - Exterior - 2 Antenas	166
A.86.Relación RSSI Medio/Etiquetas - Desglose por Distancia - Exterior - 2 Antenas	167
A.87.Relación RSSI Medio/Etiquetas - Desglose por Potencias - Exterior - 2 Antenas	167
A.88.Relación Ratio Etiquetas leídas/Distancia - Exterior - 2 Antenas	167
A.89.Relación Ratio Etiquetas leídas/Distancia - Desglose por Etiquetas - Exterior - 2 Antenas	168
A.90.Rel. Ratio Etiq. leídas/Distancia - Desglose por Potencias - Exterior - 2 Antenas	168
A.91.Relación Ratio Etiquetas leídas/Potencia - Exterior - 2 Antenas	169

A.92.Relación Ratio Etiquetas leídas/Potencia - Desglose por Etiquetas - Exterior	
- 2 Antenas	170
A.93.Rel. Ratio Etiquetas leídas/Etiquetas - Exterior - 2 Antenas	170
A.94.Rel. Ratio Etiquetas leídas/Etiquetas - Desg. por Potencia - Exterior - 2	
Antenas	171
A.95.Rel. Ratio Etiquetas leídas/Etiquetas - Desg. por Distancia - Exterior - 2	
Antenas	171
A.96.Rel. Tiempo entre lecturas Medio/Distancia - Exterior - 2 Antenas	171
A.97.Rel. Tiempo entre lecturas Medio/Distancia - Desg. por Potencia - Exterior	
- 2 Antenas	172
A.98.Rel. Tiempo entre lecturas Medio/Distancia - Desg. por Etiquetas - Exterior	
- 2 Antenas	172
A.99.Rel. Tiempo entre lecturas Medio/Potencia - Exterior - 2 Antenas	173
A.100Rel. Tiempo entre lecturas Medio/Potencia - Desg. por Distancia - Exterior	
- 2 Antenas	173
A.101Rel. Tiempo entre lecturas Medio/Potencia - Desg. por Etiquetas - Exterior	
- 2 Antenas	174
A.102Rel. Tiempo entre lecturas Medio/Etiquetas - Exterior - 2 Antenas	174
A.103Rel. Tiempo entre lecturas Medio/Etiquetas - Desg. por Distancia - Exterior	
- 2 Antenas	174
A.104Rel. Tiempo entre lecturas Medio/Etiquetas - Desg. por Potencia - Exterior	
- 2 Antenas	175
A.105Rel. Ratio Etiquetas leídas/Etiquetas - Etiq. Movimiento - Interior - 1 Antena	175
A.106Rel. Ratio Etiquetas leídas/Etiquetas - Etiq. Movimiento - Interior - 2 Antenas	175

Capítulo 1

Introducción

1.1. Introducción a la Tecnología RFID

El principal objetivo de la tecnología RFID (Radio Frequency Identification o identificación por radiofrecuencia) es identificar o reconocer un elemento denominado etiqueta o tag, el cual se puede encontrar emplazado en cualquier parte, como por ejemplo en las prendas textiles, en los vehículos, en los productos de una fábrica, en un centro logístico o incluso en las propias personas.

Los orígenes de esta tecnología se remontan a la Segunda Guerra Mundial. En aquella época, los bombarderos Aliados utilizaban un sistema basado en identificación mediante radio, y aunque podían monitorizar mediante radar quién o qué entraba en su territorio, no eran capaces de distinguir si se trataba de una aeronave aliada o si por el contrario pertenecía al enemigo [20][26].

Los alemanes descubrieron que si los pilotos realizaban movimientos denominados “Roll” (movimiento de rotación sobre el eje X, figura 1.1) en una aeronave al volver a la base, la señal reflejada captada por el radar era distinta, lo cual servía para monitorizar y alertar a la base de si la aeronave se trataba de un enemigo o de un aliado (esto es la base de lo que

hoy se denomina RFID pasivo) [20][26].

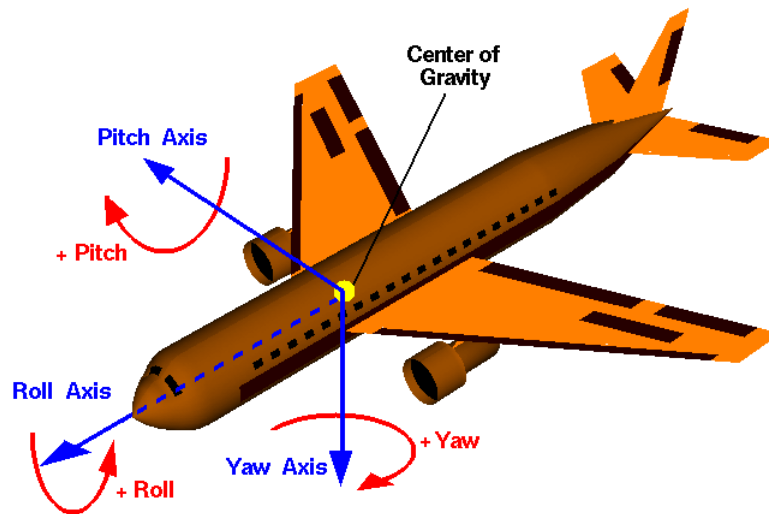


Figura 1.1: Movimientos Roll, Pitch y Yaw de una aeronave

Por otro lado, los británicos también desarrollaron su propio sistema de identificación para reconocer a una aeronave como aliada o como enemiga cuando esta penetrase dentro del alcance efectivo del radar. Este proyecto o sistema se denominó **Identify Friend or Foe (IFF)** y fue dirigido por Watson-Watt. Este sistema implicaba colocar transmisores en cada aeronave aliada, de modo que estos se activaban y comenzaban a emitir señales identificativas cuando se encontraban dentro del alcance del radar, y de esta manera poder identificar si la aeronave pertenecía al bloque aliado o no (esto es la base de lo que actualmente se denomina RFID activo) [20][26].

Tras la Segunda Guerra Mundial, durante las décadas de los años 50 y 60, se llevaron a cabo distintas investigaciones por científicos y académicos de Estados Unidos, Europa y Japón, las cuales explicaban cómo la energía de la radiofrecuencia podía ser utilizada para identificar objetos de forma remota. Por esta época, las compañías comenzaron a implantar sistemas antihurtos que se basaban en la tecnología descrita por estas investigaciones: con un bit, el producto se identificaba como pagado o como no pagado, y en el caso de que el producto hubiese sido robado, el sistema lo detectaba mediante la identificación del valor

de este bit y alertaba al personal correspondiente para que tomase las acciones pertinentes. El sistema descrito es un claro ejemplo de cómo las bases de la tecnología resultante de los estudios realizados en aquella época se han extendido hasta nuestros días y de ahí su relevancia [20][26].

En el año 1973, Mario W. Cardullo recibió la primera patente de un tag activo RFID en EEUU, al mismo tiempo que Charles Walton recibía ese mismo año la patente de un transpondedor pasivo con memoria modificable para abrir una puerta (si el lector detectaba un número de identificador válido en el tag, se desbloqueaba la puerta). Además, en la década de los años 70, el gobierno estadounidense desarrolló sistemas que utilizaban esta tecnología, entre otros usos, para realizar el seguimiento de materiales nucleares o incluso de animales [20][26].

A principios de la década de los años 90, IBM desarrolló y patentó el primer sistema RFID que hacía uso de **Ultra High Frequency (UHF)**. Este novedoso sistema ofrecía grandes velocidades de lectura y escritura, además de una distancia de lectura bastante considerable (de hasta 6 metros). Debido a que la tecnología era bastante costosa y a la ausencia de estándares internacionales, no fue hasta el año 1999 cuando la tecnología RFID-UHF se expandió de manera considerable, momento en el que distintas organizaciones fundaron el centro Auto-ID en el MIT, el cual se encontraba respaldado por más de 100 empresas colaboradoras y el Departamento de Defensa de Estados Unidos, hecho que facilitó la elaboración de estándares internacionales, como por ejemplo, los denominados “Air Interfaces Protocols” (Class 1 y Class 0) y el esquema de enumeración **Electronic Product Code (EPC)** [20][26].

En octubre de 2003 se clausuró el Auto-ID center, y todas sus investigaciones pasaron a ser responsabilidad de Auto-ID Labs. Ya en 2004, EPCglobal publicó la segunda generación del estándar cuyo principal objetivo era asentar las bases de una implantación masiva, y que en la actualidad, es el que se sigue utilizando [20][26].

Actualmente el RFID es una tecnología que se encuentra en plena expansión y crecimiento, debido principalmente a que los sistemas RFID se están empezando a implantar en distintas áreas industriales y/o comerciales, y a que automatizan y mejoran los procesos “tradicionales”, optimizando costes y tiempos. Algunos de los ámbitos o campos principales de aplicación de esta tecnología son: seguimiento en tiempo real de paquetes (Amazon), control de stock y ventas en tiendas o áreas comerciales (Decathlon), control de acceso a zonas de aparcamiento, o incluso la identificación de animales para el control sanitario.

A continuación, se detalla a modo de ejemplo, un escenario en el que se utiliza la tecnología RFID con el fin de comprender la utilidad y los objetivos de la misma:

Una empresa conocida internacionalmente, cuyo negocio principal es la venta y envío de productos mediante un canal web, realiza centenares de miles de transacciones de compras y ventas de productos de forma diaria, asegurando al cliente un tiempo óptimo de entrega, y además, para mayor satisfacción del cliente, la empresa ofrece realizar el seguimiento en tiempo real de su pedido (en qué estado de la cadena se encuentra, dónde se encuentra y cuál es la fecha previsible de entrega).

Los centros logísticos y los procesos de esta empresa se encuentran dotados de la tecnología RFID debido al gran volumen de pedidos diarios y al volumen de clientes que quieren consultar el estado de su pedido en tiempo real, lo cual, únicamente es posible debido a que la empresa ha implantado la utilización de la tecnología RFID.

En el escenario anterior se puede observar que el uso de la tecnología RFID hace posible cumplir con uno de los objetivos o requisitos de negocio de una empresa, el cual le permite diferenciarse del resto de sus competidores, incrementando la satisfacción de los propios clientes y la probable incorporación de nuevos clientes. Además y de forma inherente, la propia tecnología RFID conlleva una mejora y automatización de los procesos “tradicionales” que resultan insuficientes para los requisitos de negocio actuales.

Así, y desde sus comienzos históricos, la tecnología RFID y los distintos elementos que la componen han experimentado una gran evolución en los últimos años, principalmente debido a la elaboración de estándares, al interés de distintas industrias, al bajo coste económico que supone su implantación, a los beneficios que proporciona (seguimiento, auditoría, automatización, etc...), y por último, a la propia Transformación Digital de las empresas y de la sociedad.

1.2. Motivación

Como ya se ha explicado en el apartado 1.1, en los últimos años han aparecido diversos estándares y estudios relacionados con la utilización de la tecnología RFID, lo cual ha propiciado que el interés por esta tecnología sea importante, ya que se puede aplicar en diversas áreas de la sociedad (construcción, sanidad, comercio, procesos industriales, etc).

La principal motivación para la realización de este trabajo es profundizar en los distintos aspectos teóricos y prácticos de la tecnología RFID, realizando para ello una aplicación/sistema que haga uso de la misma, y además, desarrollando un análisis completo y detallado de la tecnología RFID que pueda servir de cara a futuros estudios relacionados o incluso que sirva como orientación de cara a realizar y/o valorar la implantación de la tecnología RFID.

Además de la motivación anterior, otras motivaciones relevantes para la realización de este trabajo son:

- Utilización de tecnologías innovadoras de desarrollo de aplicaciones móviles.
- Utilización de tecnologías de bases de datos recientes.
- Automatización de procesos “tradicionales” y los beneficios que puede aportar.

1.3. Objetivos

Tras haber explicado en los apartados anteriores, de forma resumida qué es la tecnología RFID, la expansión de la misma, las facilidades que ofrece y los principales motivos que han llevado a la realización de este trabajo, a continuación se detallan los principales objetivos del proyecto.

El objetivo principal del proyecto consiste en profundizar a nivel teórico y práctico en la tecnología RFID, para lo cual se desarrollará una aplicación (Android) que utilice esta tecnología para implementar un caso de uso en un centro logístico o tienda “inteligente”, y además, se realizará un análisis detallado mediante la experimentación con la tecnología y la realización de distintas pruebas en diversos entornos, con el cual se pretende que sirva como base para otros estudios relacionados, o que incluso de un modo orientativo, sirva para valorar la implantación de la tecnología RFID.

Con estos objetivos definidos, el proyecto profundizará en la tecnología RFID, en sus distintos componentes, en la experimentación y análisis de la misma, y en el desarrollo de una aplicación móvil.

1.4. Plan de trabajo

A continuación se describe el plan de trabajo a seguir para poder alcanzar los objetivos definidos para el proyecto.

Este plan de trabajo se encuentra dividido por fases (en orden de realización):

- **Primera Fase - Investigación y Pruebas Iniciales** El objetivo de esta fase es comprender la tecnología que se va a utilizar, para lo cual, se empezará analizando distintos artículos y fuentes de información relacionadas con la tecnología RFID, así

como estándares y demás aspectos relevantes de la misma. Posteriormente, se aplicarán los conocimientos obtenidos de forma práctica utilizando el Software Impinj Item Test para realizar diversas pruebas de “contacto” con la tecnología.

- **Segunda Fase - Experimentación y Análisis Detallado** En esta segunda fase, se experimentará con la tecnología definiendo una serie de pruebas en distintos entornos y realizando un extenso análisis detallado de los resultados, y por último, definiendo unas conclusiones resultantes de esta fase.

En esta fase se utilizará todo el material disponible, el software de muestreo Impinj Item Test, así como herramientas de análisis de datos y generación de gráficas (Python).

- **Tercera Fase - Implementación de sistema de Control Logístico** En esta última fase, y con toda la información resultante de los anteriores análisis, se realizará una aplicación móvil que utilice la tecnología RFID para el control de la E/S de productos en el entorno de un centro logístico o de una tienda.

En esta fase se utilizará todo el material disponible, así como otro Software para implementar el sistema: Microsoft Xamarin (C#), MongoDB, OctaneSDK, etc.

Todo el código desarrollado en el ámbito del proyecto se encuentra disponible en el siguiente enlace público de GitHub:

[Enlace al Proyecto de GitHub](#)

1.5. Estructura del documento

A continuación se detalla la estructura del presente documento con el objetivo de facilitar su lectura y comprensión:

El documento comienza en el capítulo de **Introducción**, en el cual se define la motivación y los principales objetivos para la realización del proyecto.

Seguidamente, se encuentra el capítulo del **Estado del arte**. En este capítulo se analiza la relevancia, la utilidad, la implantación de sistemas RFID y sus principales aspectos relevantes. Además, se detalla la arquitectura genérica empleada, los elementos y los conceptos generales propios de estos sistemas. Por último, se analizan estudios realizados relacionados con RFID para comprender los problemas detectados, soluciones, y concluir los principales desafíos.

En el siguiente capítulo, **RFID: Preliminares**, se detallan las elementos utilizados durante el proyecto, así como las pruebas iniciales o de primer contacto con la tecnología, analizando de forma práctica algunos de los distintos aspectos teóricos recogidos en el capítulo anterior.

A continuación, en el capítulo **Experimentación - Análisis de resultados**, se profundiza en la metodología de las distintas pruebas realizadas y en el análisis detallado con las principales conclusiones al utilizar la tecnología RFID en distintos entornos.

En el capítulo **Implementación del sistema control logístico - App RFIDCenter**, se detallan algunos aspectos relacionados con el diseño de la aplicación, la arquitectura del sistema y, por último, una guía de uso de la aplicación.

En el capítulo **Conclusiones y trabajo futuro**, se exponen las conclusiones y los posibles trabajos futuros o mejoras a realizar sobre el proyecto realizado y documentado.

Por último, al final del documento se incluye la **Bibliografía** utilizada en el presente documento y el **Apéndice A**, el cual contiene todos los datos (en formato tabla) utilizados para la realización del análisis del capítulo **Experimentación - Análisis de resultados**.

Capítulo 2

Estado del arte

2.1. Importancia de la tecnología RFID

Como se explica en el capítulo 1, la tecnología **Radio Frequency Identification (RFID)** es una tecnología inalámbrica que se basa en la utilización de ondas electromagnéticas con el objetivo de identificar y transmitir información.

Comparándola con tecnologías clásicas y del mismo propósito, como por ejemplo, los extendidos códigos de barras para identificar productos, la tecnología RFID aporta los siguientes beneficios:

- No es necesario que la etiqueta se encuentre dentro de la línea visual del lector, lo cual proporciona una mayor flexibilidad operativa.
- Permite almacenar mayores cantidades de datos.
- Incorpora medidas de seguridad.
- Permite conocer la posición de los objetos en el plano o incluso en 3D mediante la utilización de distintas técnicas de triangulación de antenas RFID.
- Reduce los costes laborales y mejora la eficiencia de los procesos.

En el campo económico, la demanda de esta tecnología se encuentra en pleno auge, y según “Statista”, se estima que el mercado global de RFID alcance los 41.3 miles de millones de dólares americanos en el año 2025 [30]. En la figura 2.1 se puede observar el incremento de beneficios que ha experimentado esta tecnología, y que se prevé que siga creciendo durante los próximos años:

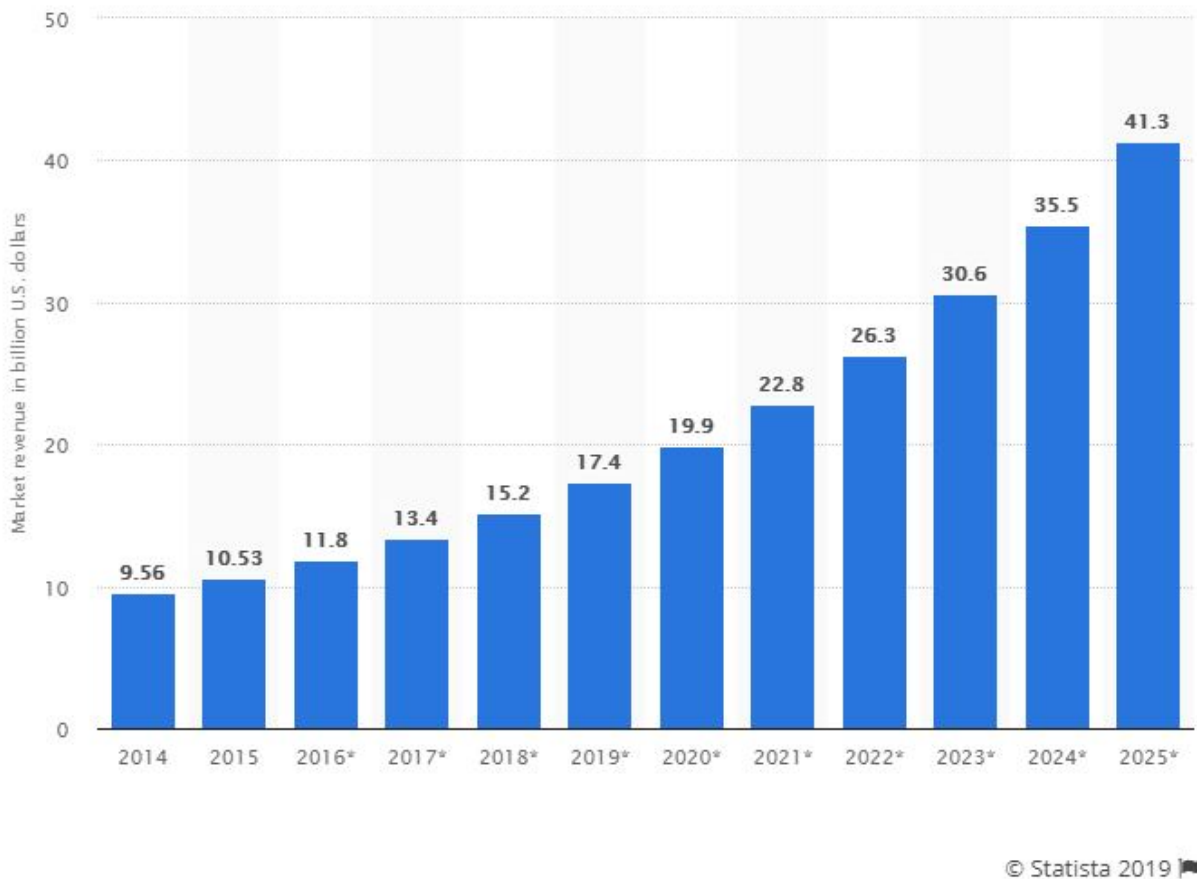


Figura 2.1: Beneficios económicos RFID en el mercado global [30]

La expansión de la tecnología RFID tiene como consecuencia que sea una tecnología que se está utilizando en distintos ámbitos con distintas finalidades, como por ejemplo, en la gestión de inventario [34], en gestión de cadenas de suministros [7], controles de accesos, identificación de tuberías subterráneas, etc.

En conclusión, la tecnología RFID ya ha empezado a tener un papel muy relevante en

los últimos años en distintas áreas, debido a su flexibilidad y a su distinta aplicabilidad. Además, se estima que en los próximos años esta tecnología siga creciendo, implantándose y desarrollándose de forma conjunta con el crecimiento y expansión del mercado del **Internet of Things (IoT)**.

2.2. Tecnología RFID

Una vez introducida de forma resumida qué es, para qué se utiliza y cuáles son los principales beneficios de la tecnología **RFID**, en este punto se profundizan y se detallan distintos aspectos de la misma.

2.2.1. Elementos básicos de un sistema logístico RFID

Los sistemas genéricos que se utilizan actualmente deben constar al menos de la siguiente infraestructura:

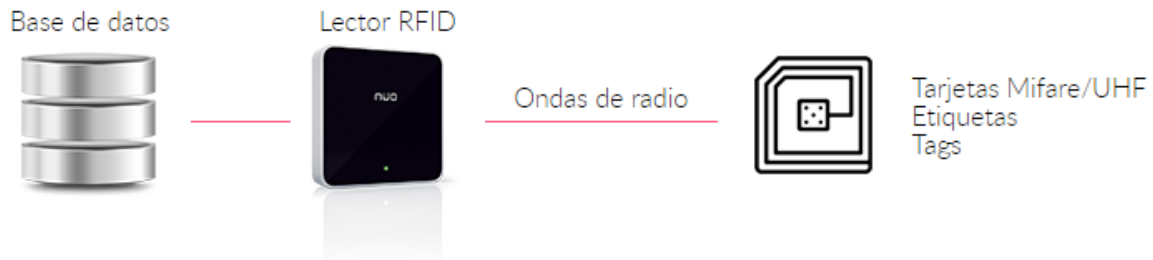


Figura 2.2: Infraestructura genérica sistema RFID [29]

En la figura 2.2 se pueden apreciar los componentes básicos de cualquier sistema RFID:

- **Etiquetas o tags RFID:** estos elementos tienen integrado un chip capaz de emitir una señal de respuesta con la información identificativa propia del tag.

- **Lector RFID:** es el elemento que realiza, emite y procesa las peticiones (y las correspondientes respuestas) para detectar e identificar los tags dentro de su alcance.
- **Base de datos:** este componente es el que contiene la información del sistema y que sirve de base para dotar de lógica al sistema RFID.

Dependiendo del objetivo del sistema RFID y de los requisitos del mismo, los sistemas se clasifican en base a la banda de frecuencia del espectro electromagnético que utilizan, tal y como se puede observar en la tabla 2.1:

RFID FREQUENCY BAND / SPECTRUM ALLOCATIONS			
RFID FREQUENCY BAND	FREQUENCY BAND DESCRIPTION	TYPICAL RANGE	TYPICAL RFID APPLICATIONS
125-134.2 kHz and 140-148.5 kHz	Low frequency	Up to ~ 1/2 metre	These frequencies can be used globally without a license. Often used for vehicle identification. Sometimes referred to as LowFID.
6.765 - 6.795 MHz	Medium frequency		Inductive coupling is used on these RFID frequencies.
13.553 - 13.567 MHz	High Frequency (also called 13.56 MHz)	Up to ~ 1 metre	These RFID frequencies are typically used for electronic ticketing, contactless payment, access control, garment tracking, etc
26.957 - 27.283 MHz	Medium frequency	Up to ~ 1 metre	Inductive coupling only, and used for special applications.
433 MHz	UHF		These RFID frequencies are used with backscatter coupling, for applications such as remote car keys in Europe
858 - 930 MHz	Ultra High Frequency (UHF)	1 to 10 metres	These RFID frequencies cannot be accessed globally and there are significant restrictions on their use. When they are used, it is often used for asset management, container tracking, baggage tracking, work in progress tracking, etc. and often in conjunction with Wi-Fi systems.
2.400 - 2.483 GHz	SHF		Backscatter coupling, but only available in USA / Canada
2.446 - 2.454GHz	SHF	3 metres upwards	These RFID frequencies are used for long range tracking and with active tags, RFID and AVI (Automatic Vehicle Identification). Backscatter coupling is generally used.
5.725 - 5.875 GHz	SHF		Backscatter coupling. Not widely used for RFID.

Cuadro 2.1: Bandas de frecuencias sistemas RFID [21]

Como se puede observar en la tabla 2.1, hay sistemas que van desde una banda de frecuencia muy baja a otras muy altas, como por ejemplo, **Ultra High Frequency (UHF)** o **Super High Frequency (SHF)**. En función de la frecuencia del ancho de banda, se pueden alcanzar distintas distancias a la que detectar los tags, las cuales varían desde uno a diez metros de distancia que se pueden conseguir utilizando un ancho de banda en el intervalo

de [858 - 930]MHz, lo cual es ideal para la gestión de activos (inventario), seguimiento de paquetes, etc [21].

Etiquetas - Tags RFID

Las etiquetas o tags RFID, son los elementos del sistema que almacenan la información identificativa mediante la utilización de códigos identificativos.

Los tags disponen de un chip (los cuales contienen la información), y de una antena impresa, como se puede observar en la figura 2.3. En su conjunto, tanto el chip como la antena, sirven para enviar la información del tag al lector RFID.

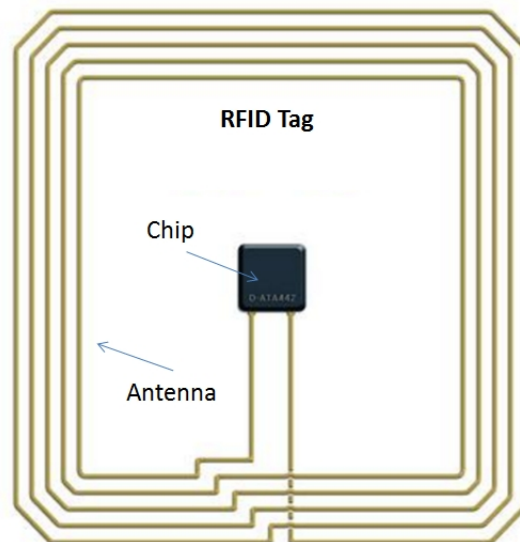


Figura 2.3: Estructura tag RFID [21]

La antena del tag recoge la energía de la señal transmitida por el lector RFID y la canaliza al chip. Cuanto mayor es el área o superficie de la antena del tag, mayor es la energía transmitida al chip, incrementando así la distancia de la respuesta que emite el tag.

En la figura 2.4, se puede observar la fórmula física que se utiliza para calcular la **Inductancia** de la antena del tag:

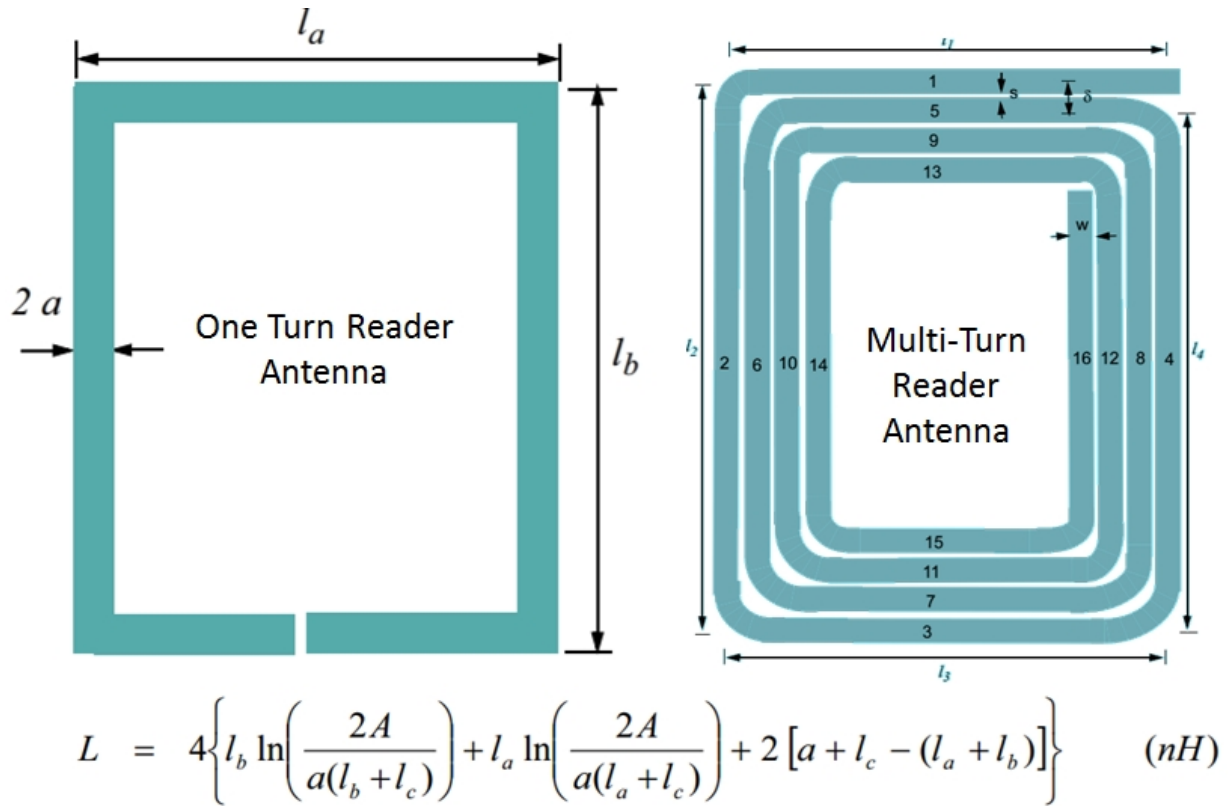


Figura 2.4: Inductancia de una antena RFID [21]

Las etiquetas RFID se pueden clasificar en base a la fuente de energía o alimentación que utilizan para enviar la respuesta a una petición del lector RFID:

- **Etiquetas pasivas:** este tipo de etiquetas se caracterizan por no utilizar ninguna fuente de alimentación (interna o externa), ya que en estos casos, el chip se alimenta con la energía que la propia antena produce por autoinducción: una variación en el campo magnético existente en el medio provoca una corriente eléctrica en la antena, que activa la alimentación del chip y lo hace funcionar. Este tipo de etiquetas únicamente se activan o se detectan si se encuentran dentro del alcance de la antena del lector RFID).
- **Etiquetas activas:** por contraposición a los tags de tipo pasivo, los tags de tipo activo utilizan una fuente de alimentación interna (habitualmente baterías dentro de

la estructura del tag). Esta fuente de alimentación proporciona energía al chip y a la antena de la etiqueta, lo cual permite incrementar la capacidad de procesamiento del chip y también permite incrementar la distancia a la cual se detecta el tag. Este tipo de tag emite señal de forma continua, por lo que no es necesario que el tag se encuentre en el alcance de la antena del lector RFID.

- **Etiquetas semi-pasivas:** este tipo se diferencia de los dos anteriores en que aunque también poseen una fuente de alimentación interna (activo), la energía de esta se proporciona únicamente al chip del tag, y no a la antena del tag (pasivo).

Las chips de las etiquetas RFID (Gen2 RFID tags) tienen bancos de memoria en los que se almacena la información en base a su finalidad:

- **Reserved Memory:** este espacio de memoria contiene los campos que controlan el acceso y el estado del tag, los cuales se denominan:
 - **Kill Password:** dependiendo de la información del registro y de si en una petición o comando de tipo “Kill” se envía la password asignada (esta tiene que ser distinta de la password por defecto, la cual son todo ceros), se puede inhabilitar por completo el tag (matarlo para que ya no pueda volver a ser detectado o realizar operación alguna sobre el mismo).
 - **Access Password:** este otro campo, a diferencia del anterior, únicamente sirve para bloquear o desbloquear (Lock/Unlock) determinadas zonas de la memoria del tag (tanto a nivel de operaciones de lectura como de escritura). El Access Password por defecto, al igual que en el caso anterior, también son todo ceros.

Dependiendo de la información que se configure en esta zona de la memoria (Reserved), cada uno de los bancos de memoria del tag (Reserved, TID, EPC y User) se pueden encontrar en uno de los siguientes estados:

- **Unlocked:** la zona de memoria se encuentra en estado “Unlocked”, por lo que se puede leer y modificar los valores de los bancos de memoria sin problemas.
 - **Perma-Unlocked:** la zona de memoria estaría en estado “Unlocked” para siempre de forma irrevocable.
 - **Perma-Locked:** al contrario que en el caso anterior, la zona de memoria afectada se encontraría en estado “Locked” de forma permanente e irrevocable.
 - **Locked:** la zona de memoria en cuestión se encuentra en estado “Locked”, por lo que se no se puede modificar (y en algunos casos tampoco leer) el valor del registro.
- **EPC Memory:** este espacio de memoria contiene, entre otros registros de control de errores, el valor del **Electronic Product Code (EPC)**, el cual sirve para identificar el producto del tag (es similar al código de barras tradicional tan ampliamente utilizado). Como define el estándar, debe ocupar un mínimo de 96 bits, aunque en algunos tags (según el modelo y el fabricante) tienen mayor capacidad (más bits) a costa de otros espacios de memoria (en general es a costa de consumir espacio del “User Memory”).

Los registros que almacena este espacio de memoria son los siguientes:

- **CRC-16 (16-bit Cyclic Redundancy Check):** se utiliza para la detección de errores.
 - **PC (Protocol Control):** se utiliza para el control del protocolo Gen2.
 - **Electronic Product Code (EPC):** este campo sirve para identificar un producto y, dependiendo del modelo y del fabricante del tag, varía desde los 96 a los 496 bits de tamaño.
- **TID Memory:** el único propósito de este banco de memoria es almacenar el identificador de fabricación del tag (Tag ID). El valor se asigna durante la propia fabricación

del tag y no se puede modificar, ya que una vez grabado el valor, el fabricante transiciona esta zona de memoria al estado Perma-Locked, por lo que este es el único registro que no se puede modificar tras la fabricación.

- **User Memory:** el estándar indica que esta zona de memoria es totalmente opcional, por lo que su tamaño o existencia depende completamente del fabricante y del modelo del tag. En general, esta zona no suele exceder de los 512 bits, pero en algunos modelos se pueden alcanzar los 4K y los 8K de información.

De forma general, esta zona se utiliza para almacenar información adicional como la temperatura de una habitación, la fecha de validez del tag u otros datos.

En la figura 2.5 se puede observar de forma esquemática la estructura básica de memoria un tag RFID.

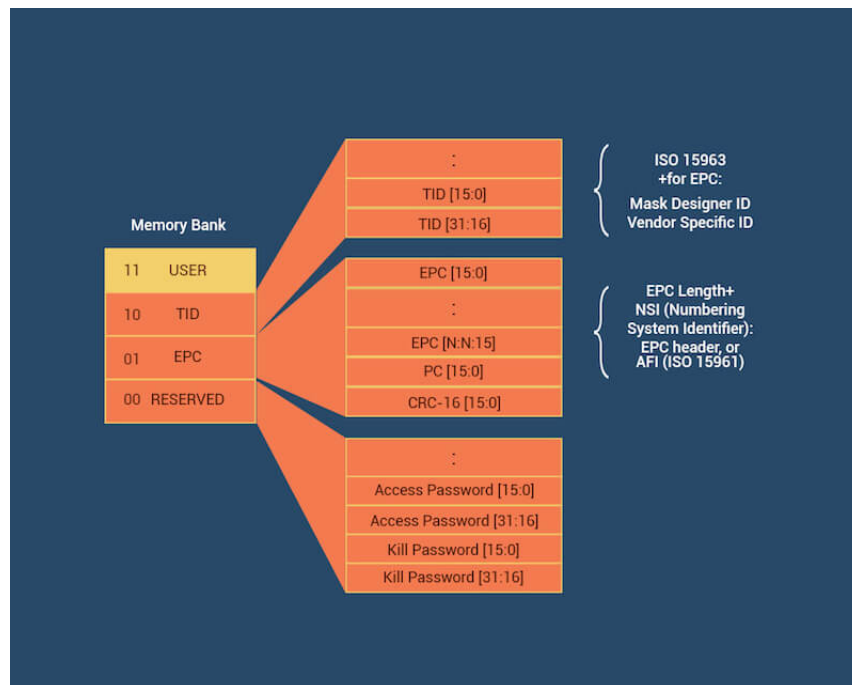


Figura 2.5: Estructura de la memoria de un tag RFID [13]

Lector - Reader RFID

Una vez explicados los tags o etiquetas RFID, a continuación se detalla la otra parte importante e indispensable del sistema: el Lector RFID. Este elemento, junto con los tags, completan un sistema RFID básico, ya que tendríamos los elementos que contienen la información (tags) y el componente que se encarga de detectarlos y procesarlos adecuadamente (Lector RFID - Figura 2.6).

El propósito principal del Lector RFID es transformar la corriente eléctrica en ondas electromagnéticas. Cuando estas ondas electromagnéticas entran en el área de un tag RFID, la antena del tag convierte nuevamente las señales electromagnéticas en señales eléctricas procesables por el chip del tag, y que además sirven para que el tag vuelva a emitir la respuesta nuevamente en forma de señales electromagnéticas procesables por el lector RFID.

Además, como se explicará en apartados posteriores, este elemento se encarga de implementar y controlar distintos aspectos de la comunicación que se establece entre los tags y el lector, como por ejemplo, el protocolo anti-colisiones utilizado para resolver conflictos que harían imposible las distintas comunicaciones entre las etiquetas y el lector.



Figura 2.6: Lector RFID Impinj R200

2.3. Utilidades de la tecnología RFID

Aunque en la actualidad el principal objetivo de la tecnología RFID se encuentra centrado en las aplicaciones logísticas, también se pueden encontrar otras aplicaciones de la misma en áreas menos populares, ya esta tecnología se encuentra en constante expansión gracias a la simplificación y optimización de procesos industriales, a la sencillez de implantación, a su bajo coste y a la utilización de la misma en disciplinas punteras e innovadoras, como por ejemplo, en el Internet of Things (IoT) [28].

De este modo se pueden encontrar distintas y diversas aplicaciones de esta tecnología o incluso puede ser utilizada de manera conjunta con otras tecnologías como los drones o **Unmanned Aerial Vehicles (UAV)**. A continuación se detallan y se analizan algunas aplicaciones/escenarios en los que se utiliza la tecnología RFID:

- **Inventario automatizado** [32]: el objetivo descrito en este escenario es precisamente el que se busca con la realización de este proyecto, es decir, la automatización del inventario de una tienda o de un gran almacén.

En el artículo [32], se pone de manifiesto las complicaciones y dificultades que conllevan realizar un inventario de un gran almacén de forma manual, y por ende, el coste y la repercusión económica que tiene para la empresa esta forma “tradicional” de hacerlo.

Para optimizar este proceso, en [32] se propone un sistema, que con únicamente pulsar un botón sepamos cuál es el inventario que tenemos actualmente, sin incurrir en gastos operativos.

Este sistema está basado en el seguimiento de los productos con tags RFID, y en la utilización de **UAV** (Figura 2.7), los cuales son los encargados de realizar esta monitorización, con todas las ventajas que ello conlleva (acceso a zonas complejas, desplazarse en cualquier dirección, detección temprana de exceso o defecto de un producto, etc).



Figura 2.7: Inventario RFID-UAV [32]

- **Sistema de alarmas de inundación [26]:** la protección de infraestructuras críticas necesarias para la actividad de un país frente a amenazas como inundaciones, fuegos o tornados, es una labor totalmente necesaria y crítica.

Así, en [26], para implementar un sistema que notifique de que una central de energía se está inundando, se propone utilizar la tecnología RFID. En una central eléctrica hay algunos elementos críticos y muy costosos que no están preparados para funcionar en un entorno de inundación, por lo que si alguno de estos elementos resulta dañado, las consecuencias económicas pueden ser desastrosas. Así pues, el sistema RFID detectaría que se estaría produciendo una inundación en una sala de control de la planta eléctrica, y lanzaría una señal para cerrar herméticamente la sala para que no se inunde.

En el sistema propuesto, los tags RFID se colocarían en el suelo, y la antena se colocaría en la parte más alta de la sala para leer el **Received Signal Strength Indication (RSSI)**, de modo que, en condiciones normales la antena es capaz de leer un **RSSI** alto, mientras

que en condiciones de inundación, este valor disminuye de forma importante o incluso se dejan de detectar varios tags, lo que haría lanzar la señal para cerrar herméticamente la sala y detener la inundación de la misma.

Además, en el artículo [26] también se analiza la distancia a la que el lector utilizado detecta cuatro tags, poniendo distintos materiales entre los tags y el lector (aire, espuma aislante, arena, serrín, rocas, hojas y agua). En este caso (inundación), los tags se detectarían únicamente si el lector se encontrase posicionado a una distancia menor de 30cm, por lo que en una situación de inundación con la antena posicionada a una distancia superior a 30cm, si dejan de detectar varios de los tags, se puede suponer que la sala se está inundando y disparar así la correspondiente señal para tratar de evitarlo.

En la figura 2.8, se puede observar el experimento realizado en [26]. En la figura 2.9 se reflejan los resultados obtenidos en cuanto a la variación de **RSSI** de los distintos materiales (como se observa, el agua es el material que más bloquea la señal, y por el contrario, la arena y el serrín potencian más la señal RFID que el aire):

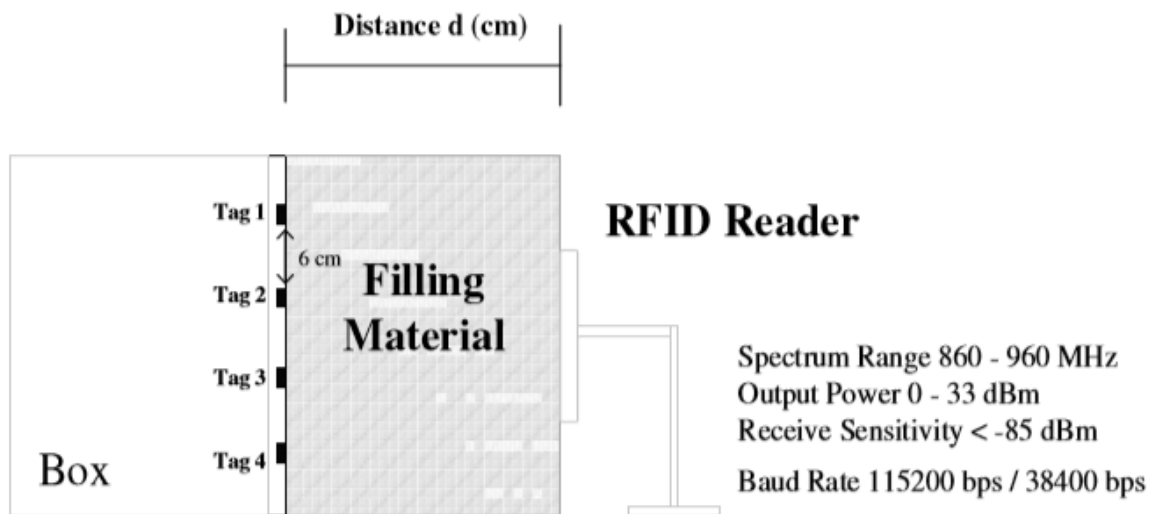


Figura 2.8: Configuración experimentación para extracción de medidas utilizando distintos materiales [26]

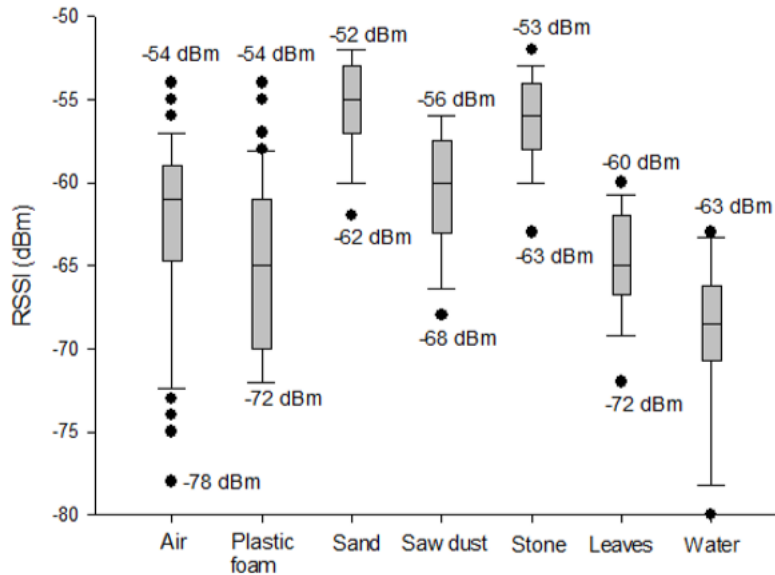


Figura 2.9: Intervalos de RSSI para diferentes materiales [26]

- **Monitorización de deportistas** [14]: desde los inicios de la humanidad se han practicado distintos deportes que han ido evolucionando con el paso del tiempo.

En la actualidad, en las competiciones de deportes de élite, el entrenador personal de un atleta o de un equipo de jugadores es el encargado de analizar y corregir y/o optimizar los movimientos de los jugadores para tratar de hacerse con la victoria. Por ejemplo, en el fútbol existen distintos sistemas que permiten monitorizar el partido, y posteriormente analizar qué probabilidades de gol han existido durante el mismo. Para ofrecer esta información, se utilizan sistemas precisos de medición y posicionamientos (bastante más costosos que el RFID)[6] y también sistemas que utilizan las cámaras de las instalaciones y que permite etiquetar distintos eventos sucedidos para retransmitirlo o reproducirlo posteriormente (lo cual facilita la búsqueda y su reproducción) [11].

Del mismo modo, en [5] se ha realizado un análisis profundo de la utilización y valoración de implantación de la tecnología RFID para competiciones de patinaje profesional, el cual concluye que con el entorno y equipamiento del que se disponía, y debido a las velocidades que se alcanzan en este deporte, no es factible la implantación del RFID

en este ámbito.

En el escenario de [14] (figura 2.10, se propone utilizar un sistema RFID para realizar la monitorización de la posición de los jugadores, en vez de los costosos sistemas precisos (aunque la precisión de los sistemas RFID es bastante menor que la de los actuales sistemas utilizados, respectivamente 1-2 metros frente a los 5-8 centímetros). Para ello, se utilizan distintas técnicas para calcular la posición, como por ejemplo, las siguientes: **Received Signal Strength Indication (RSSI)**, **Angle of Arrival (AOA)**, **Time Difference of Arrival (TDOA)**, **Time of Flight (TOF)**.

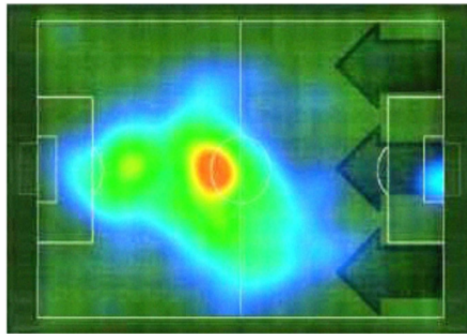


Figura 2.10: Heat Map de un jugador en el campo de fútbol - RFID [14]

- **Monitorización de estructuras [15]:** el objetivo de este escenario sería monitorizar de forma constante y automática las infraestructuras, como por ejemplo, el estado los puentes de un país.

En la actualidad, los chequeos del estado de las infraestructuras lo realiza de forma manual y visual un ingeniero, lo cual es un trabajo lento, muy peligroso, y costoso (suele realizarse de forma anual).

Con el escenario propuesto en el artículo [15], se complementarían la labor del ingeniero con la utilización de un **UAV**, el cual realizaría un análisis visual del estado de la infraestructura y recogería datos de los sensores mediante RFID (por ejemplo, de las vibraciones del puente) que se enviarían a una central de datos, la cual, en caso de que se detecten valores anormales, enviaría una señal a las autoridades para cortar el

tráfico rodado por dicho puente de forma inmediata, lo cual permitiría salvar muchas vidas.

Este sistema permite tener un análisis continuo, más ágil, menos costoso y menos peligroso que la forma clásica. También tiene algunos inconvenientes o frentes abiertos, como por ejemplo, cómo se orientaría el dron utilizado para recopilar la información de las etiquetas RFID en un túnel o debajo del metal de un puente al que no llega la señal GPS.

- **Tracking de materiales de construcción** [31]: según [24], los materiales, el equipamiento y la maquinaria necesaria de una obra de construcción comprenden entre el 50 % y el 60 % del coste total, por lo que, cómo se gestionan los materiales de una obra tiene una afectación directa en el rendimiento y en los costes.

El sistema que propone [31], consiste en utilizar la tecnología RFID para la localización de materiales y equipamiento, así como para automatizar el registro de la entrada y salida de materiales del sitio de la construcción mediante grandes arcos por los que pasarían los vehículos que transportan los materiales.

El artículo [31] concluye que sí que sería posible utilizar RFID para los objetivos propuestos, y que además sería menos costoso que otros sistemas de localización (GPS).

- **Monitorización de animales** [28]: el sistema propuesto en el artículo [28] sirve para mantener a los animales de una granja monitorizados e inventariados, proporcionando además un sistema de alerta a las autoridades en el caso de que algún animal peligroso de la granja escape.

Esto lo consiguen mediante la implantación de un sistema RFID en la granja: los animales tienen insertados unos tags RFID de tipo activo, los cuales permiten localizar al animal a una mayor distancia que los pasivos. Estos tags son de un tamaño pequeño para que se ajusten a una mínima superficie del animal (incluso es válido para animales de tamaño pequeño), y la vida media útil de este dispositivo, en general, es de unos

30 años.

Con este sistema se logra mantener inventariada y clasificada la información de cada animal, como por ejemplo, la fecha de nacimiento, cantidad de leche producida, datos sobre la fertilidad e incluso el historial de vacunaciones.

- **Monitorización del medio ambiente** [1]: el objetivo de este sistema es recopilar información procedente del medio (presión, humedad, temperatura, etc), la cual es periódicamente enviada a un nodo central que recolecta la información para su posterior análisis.

Para este fin, en el artículo [1] se hace uso de unos tags (organizados en una **Wireless Sensor Network (WSN)** en forma de estrella) de tipo activo (con sensores adicionales incluidos para poder realizar las mediciones), de un nodo central que recaba la información de los tags y de una **UAV**.

Además también en [1], se alude al problema del consumo de energía y de cómo lo han solucionado mediante la utilización de una **UAV** que recarga de forma inalámbrica la pila de los tags RFID (que tienen que ser localizados y posicionados previamente).

Aunque existen otros sistemas para realizar mediciones de variables ambientales, la solución que utiliza la tecnología es la que más bajo consumo de energía presenta.

En la figura 2.11, se puede observar cómo es el tag RFID en cuanto a tamaño y peso (menos de 12 gramos):

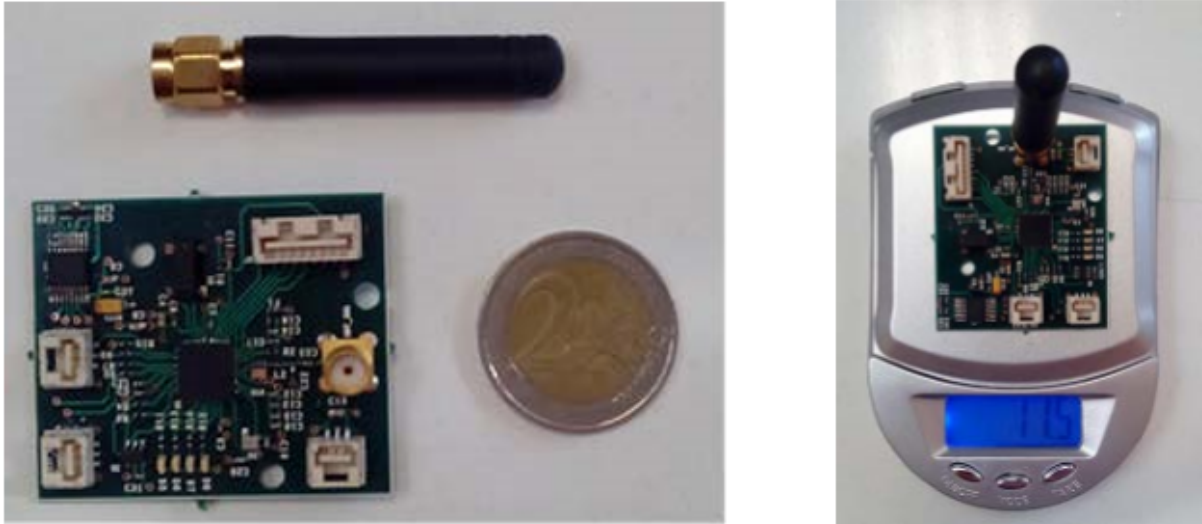


Figura 2.11: Tag RFID activo con sensores [1]

2.4. Aspectos relevantes de la tecnología RFID

2.4.1. Protocolo EPCglobal Generation 2 (Gen2)

El protocolo EPCglobal Gen2 de tipo UHF RFID pasivo ha despertado un gran interés desde que se publicó en el año 2005. Como se ha explicado en apartados anteriores, el desarrollo de este protocolo comenzó a principios del año 2003 bajo la dirección del Auto-ID Center del MIT. Ese mismo año, Wal-Mart publicó que sus proveedores deberían utilizar la tecnología RFID etiquetando todos los palés con etiquetas UHF de tipo pasivo. Al poco tiempo de publicar Wal-Mart este requisito, el Departamento de Defensa de los Estados Unidos anunció que también iban a comenzar a utilizar en algunas iniciativas la tecnología RFID [12].

Desde entonces, las compañías han invertido un gran esfuerzo económico por optimizar los sistemas iniciales de RFID de bajo rendimiento y medio alcance, hasta alcanzar los sistemas actuales de alto rendimiento y gran alcance.

El protocolo Gen2 está orientado a la utilización en las cadenas de suministros y sigue la filosofía del sistema EPC definido por el AutoID-Center, es decir, que los tags almacenen la información identificativa (EPC), a raíz de la cual se podrá extraer otra información adicional en los sistemas IT correspondientes [12].

Este protocolo define la “Air Interface” entre un tag y un lector que opere entre los 860MHz y los 960MHz. Este protocolo implementa una serie de comandos y define una serie de procedimientos de comunicación. En total, el protocolo Gen2 implementa 15 comandos, los cuales se pueden agrupar en tres grupos o categorías dependiendo de la operación[2]:

- **Singulation:** Query, Select, QueryRep, QueryAdjust, ACK y NACK.
- **Read/Write:** Req_RN, Read, Write, Lock, BlockWrite, BlockErase y BlockPerma-lock.
- **Security:** Kill y Access.

La lógica y funcionamiento de cada tag o etiqueta se encuentra implementada mediante una **Finite State Machine (FSM)** como se puede apreciar en la figura 2.12 [2], y únicamente se cambia de estado cuando el comando que recibe el tag es válido.

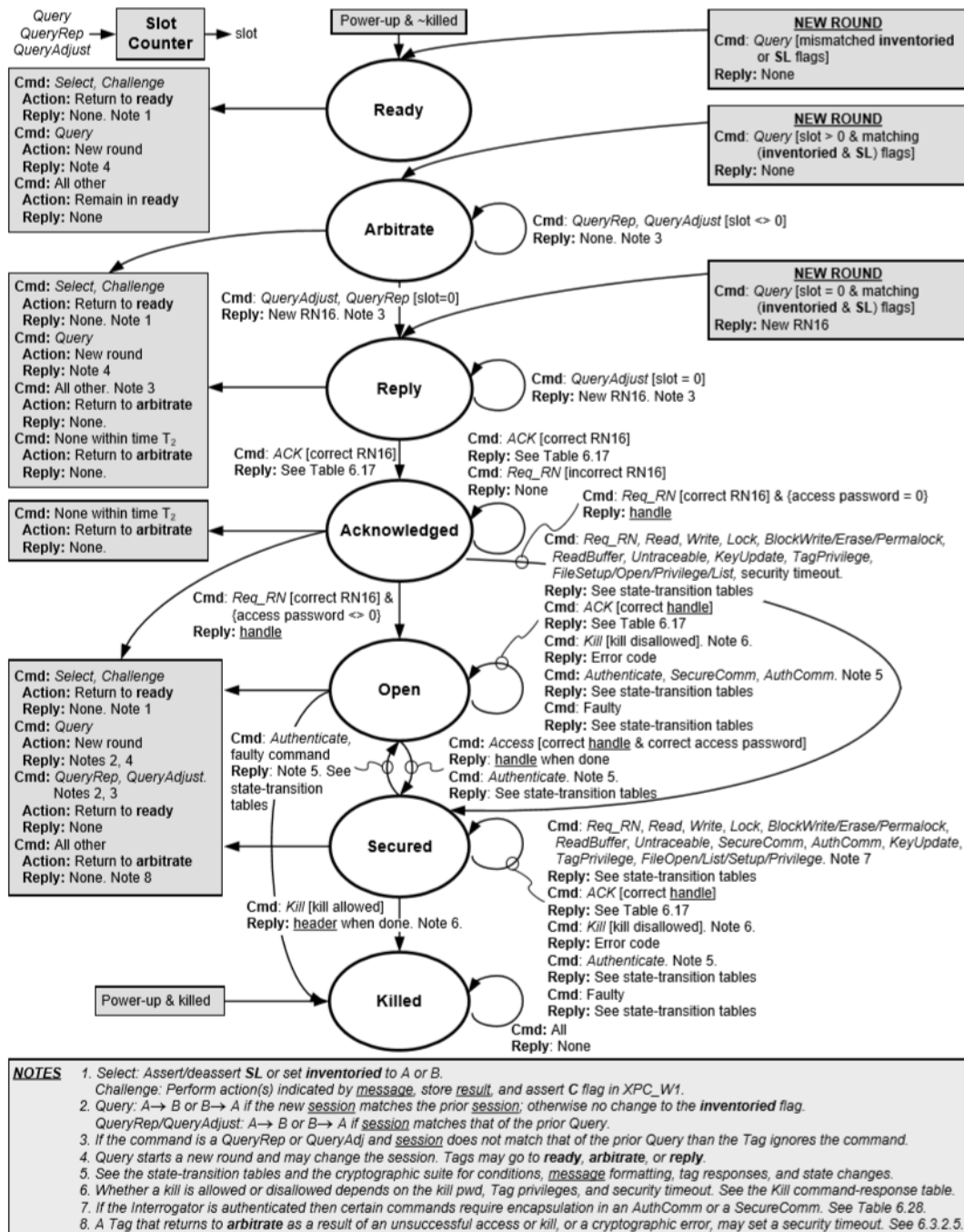


Figura 2.12: Máquina de estados Gen2 RFID tag [2]

Como se puede observar en la figura 2.12, siempre se comienza con operaciones de tipo Singulation iniciadas por el comando Query. Una vez completada la fase de inicialización y arranque del tag, se transiciona al estado Ready. En este último estado, el lector o interrogador realizará una serie de operaciones que hará transitar al tag del estado Ready al estado Arbitrate, para posteriormente transitar al estado Reply y al estado Acknowledged. Estando en el estado Acknowledged, el tag ya ha sido identificado, y una vez en este estado, el interrogador puede hacer transitar al estado Open y al estado Secured (mediante la utilización de contraseña). Una vez en el estado Secured, el interrogador puede realizar distintas operaciones en el tag [12].

Además, el protocolo Gen2 tiene definidos unos tiempos para las comunicaciones que se realicen entre la petición del interrogador (lector) y la correspondiente respuesta, y también establece el tiempo límite máximo para recibir la siguiente petición o comando. Según el estándar, el interrogador debe comunicarse con los tags con una tasa de transferencia de datos de 26.7kbps como mínimo y de 128kbps como máximo. En cambio, los tags han de comunicarse con el interrogador con tasas desde 5kbps hasta los 640kbps (lo habitual es que se utilice el que va desde los 40kbps hasta los 120kbps). Antes de cualquier comando Query, se ejecuta lo que se denomina el Preamble, en el cual se establece las tasas de comunicación mediante el envío de un Framesync [12].

En la tabla 2.2 se reflejan algunas de las operaciones más comunes y sus respectivos tiempos para las tasas más lentas y las más rápidas.

Command	Command (μs)		Response (μs)	
	26.7 kbps	128 kbps	40 kbps	640 kbps
Select (Framesync + 44 bits)	1760.500	378.125	No Response	
Query (Preamble + 22 bits)	1161.47	223.438	850.000	34.375
Ack (Framesync + 18 bits)	786.650	175.000	4450.000	259.375
QueryRep (Framesync + 4 bits)	262.300	65.625	850.000	34.375
Req_RN (Framesync + 40 bits)	1610.500	346.875	1265.625	85.430

Cuadro 2.2: Tiempos de comunicación para comandos del protocolo Gen2 [12]

2.4.2. Seguridad

La seguridad o protección de los sistemas RFID se ha ido desarrollando desde la expansión comercial de esta tecnología y su aplicación en áreas muy diversas, ya que los tags puedan almacenar y transmitir información muy importante de la organización o incluso datos de carácter personal.

El estándar Gen2 ha ido evolucionando para cumplir con nuevos requisitos, y uno de ellos, como no podía ser de otra forma, es la seguridad. El estándar Gen2 dispone de un framework de seguridad que principalmente se centra en la autenticación (la cual permite acceder y realizar operaciones sobre un tag) y en la securización de los canales de comunicación mediante suites criptográficas (AES-CBC o AES-OFB) [12].

Se han realizado diversos estudios para analizar la seguridad de un sistema RFID que concluyen que los posibles ataques que pueden realizarse sobre el protocolo Gen2 son los siguientes:

- **Ataques Eavesdropping:** en este tipo de ataques (pasivo), el atacante está escuchando el medio, registrando las comunicaciones que se realizan entre el tag y el interroga-

dor o viceversa. Esta información capturada, puede ser utilizada para posteriormente realizar ataques más complejos. El framework de seguridad que proporciona Gen2, mediante la utilización del comando SecureComm, puede mitigar este tipo de ataques una vez que la conexión segura queda establecida, protegiendo así la confidencialidad y la integridad de la información del canal de comunicación [12].

- **Ataques Snooping:** en este tipo de ataque, considerado activo, un supuesto atacante podría intentar comunicarse con el tag ya que el protocolo Gen2 está diseñado para que los tags sean promiscuos, es decir, que cualquier interrogador o lector pueda enviar comandos válidos a un tag sin realizar ningún tipo de control. Utilizando este ataque, se busca obtener acceso al tag y a las operaciones controlando parte de la comunicación. Con los tiempos definidos en el estándar, es bastante complejo obtener los paquetes necesarios del comando Authenticate para realizar este tipo de ataques (con cifrado, unos 6 millones de años para obtener los 2^{64} primeros paquetes de autenticación) [12].
- **Ataques Relay:** en este tipo de ataques, el atacante retransmite los mensajes intercambiados entre el interrogador y el tag, suplantando al interrogador legítimo. Este tipo de ataques es efectivo contra cualquier medida de seguridad en la capa de aplicación y también contra cualquier medida de seguridad del protocolo Gen2 e incluso las medidas de cifrado de los canales de comunicación con AES-CBC o AES-OFB, ya que por ejemplo, un atacante podría saltarse los protocolos de autenticación cifrados simplemente retransmitiendo paquetes entre el interrogador y el tag para por ejemplo, abrir una puerta (el atacante no conoce el contenido cifrado) [12].

Debido a los tiempos definidos en el Gen2, resulta que el protocolo Gen2 proporciona este tipo de contramedida que hace posible que los ataques de Relay no sean posibles (a no ser que se utilice la retransmisión de respuestas con retardo (Delayed Responses)) [16].

- **Ataques Man-in-the-Middle:** este tipo de ataques están muy relacionados con los

ataques de tipo Relay, es decir, es un ataque en el cual se intercepta la comunicación y el atacante inyecta datos en la misma con el fin de conseguir un objetivo. La principal diferencia entre ambos tipos de ataques, es que el atacante puede modificar los datos de la comunicación.

El framework de seguridad de Gen2 mitiga este tipo de ataques por los tiempos que define (al igual que en el caso anterior, a no ser que se el lector legítimo tenga habilitada la opción de permitir respuestas con retardos, en cuyo caso, sí que serían vulnerables) [12].

- **Ataques de fuerza bruta:** en el artículo [8] se ha analizado, teniendo en cuenta los distintos tiempos que define el protocolo Gen2, cuánto tiempo costaría realizar un ataque de fuerza bruta sobre las Access y Kill Passwords (cada una de 16 bits).

Los resultados indican que el tiempo medio para crackear el Access Password es de 29 días, y de 31 días en el caso del Kill Password, como se pueden apreciar en las tablas del cuadro 2.3.

Para que este tipo de ataques sea posible, tienen que cumplirse algunas condiciones previas: que el tag objetivo se encuentre cerca del lector, que no se desplace fuera del alcance del lector, y que el atacante disponga de tiempo para realizar el ataque [8].

En conclusión, los ataques de fuerza bruta conllevan un largo tiempo de explotación y requieren de varias condiciones previas, por lo que el riesgo, dependiendo del entorno real, sería más bien bajo. Este tipo de ataques se podría mitigar por completo si por ejemplo, los tags al recibir 3 comandos de Access o de Kill incorrectos, se quedasen en un estado “bloqueado”, de forma que, aunque le llegase otro comando de access o de kill, no hubiese respuesta hasta que haya pasado un tiempo prudencial.

Tag	Days
1	56.0133
2	17.9144
3	47.9197
4	34.5349
5	3.3228
6	20.4434
7	43.4937
8	12.5332
9	11.5874
10	17.5844
11	32.6957
12	2.89707
13	30.446
14	42.6062
15	0.874612
16	55.9747
17	49.8665
18	42.7106
19	54.7748
20	15.868

(a) Tiempos de crackeo de Access Password

Tag	Days
1	28.9497
2	3.47507
3	20.068
4	15.2547
5	13.0617
6	13.4072
7	54.7896
8	55.4389
9	54.801
10	0.711883
11	27.8684
12	41.8597
13	40.3139
14	5.63918
15	50.7987
16	55.4209
17	41.0871
18	52.1404
19	4.43891
20	44.8941

(b) Tiempos de crackeo de Kill Password

Cuadro 2.3: Tiempos crackeo de Access y Kill Password [8]

2.4.3. Control de colisiones

Un punto importante para medir la eficiencia de un sistema RFID, es la eficacia de los algoritmos utilizados contra las colisiones (algoritmos anti-colisiones). Las colisiones se producen cuando dos o más tags dentro del área del interrogador (lector) transmiten su información al mismo tiempo, lo cual puede producir pérdida de información.

Para evitar o prevenir estas colisiones, existen distintos métodos o algoritmos que se explicarán de forma resumida en los siguientes puntos, pero todos tienen en común que se busca asegurar que solamente un tag está comunicándose con el interrogador en el mismo instante de tiempo.

Los algoritmos anti-colisiones más comunes en sistemas RFID son: ALOHA y Árboles Binarios (ambos están basados en el algoritmo TDMA, mediante el cual, un comando del

lector estaría dividido en determinados slots, y cada uno de estos slots debe ser ocupado por un único tag para que no se produzca una colisión) [9].

ALOHA

Mediante la utilización de este algoritmo (basado en TDMA), cuando un tag es alcanzado por la señal de un lector, es el propio tag el que aleatoriamente decide en qué momento retransmite su información (este tiempo no se encuentra sincronizado ni con el lector ni con otros tags que se encuentren presentes), y cuando hay más de un tag presente en el alcance del lector y responden a la vez o se solapan parcialmente, se producen colisiones (parciales o completas)[22].

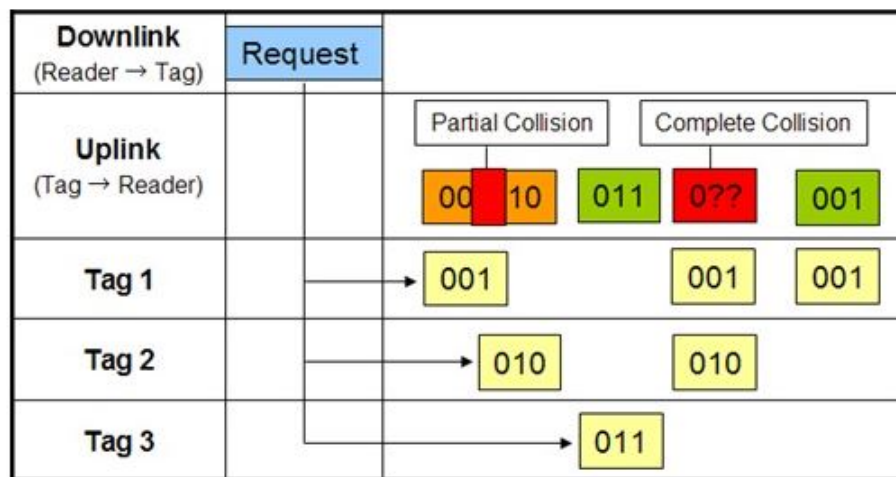


Figura 2.13: Algoritmo anti-colisiones ALOHA [22]

Como se puede observar en la figura 2.13, en un ciclo de lectura, el lector emite el comando REQUEST, y cuando los distintos tags lo reciben, estos transmiten su información al lector, el cual verifica cuáles de ellos han enviado correctamente toda su información (sin colisionar) y a estos se les envía el comando SELECT con la información recibida (el identificador único del tag), los cuales pasan a un estado que no responden al comando REQUEST, por lo que en el siguiente ciclo de lectura, los tags que al enviar su información hayan colisionado en la

ocasión anterior, podrán volver a retransmitir nuevamente la información (al haber menos tags, la probabilidad de colisión habrá disminuido respecto al primer ciclo de lectura) [22].

La principal ventaja al utilizar este algoritmo es su sencillez, y la desventaja es la alta probabilidad de que se produzcan colisiones (cuantos más tags, más colisiones)[9].

Slotted ALOHA

Este algoritmo divide el tiempo en distintos slots, y el tag ha de comunicar la información en uno de estos slots, por lo que la probabilidad de colisión disminuye frente al algoritmo ALOHA (aunque es necesario que se establezca una comunicación síncrona entre el lector y los tags). Ya que los tags han de transmitir en un slot de tiempo concreto, únicamente existirán colisiones completas y no parciales [22]. En la figura 2.14, se puede encontrar un ejemplo que utiliza esta aproximación.

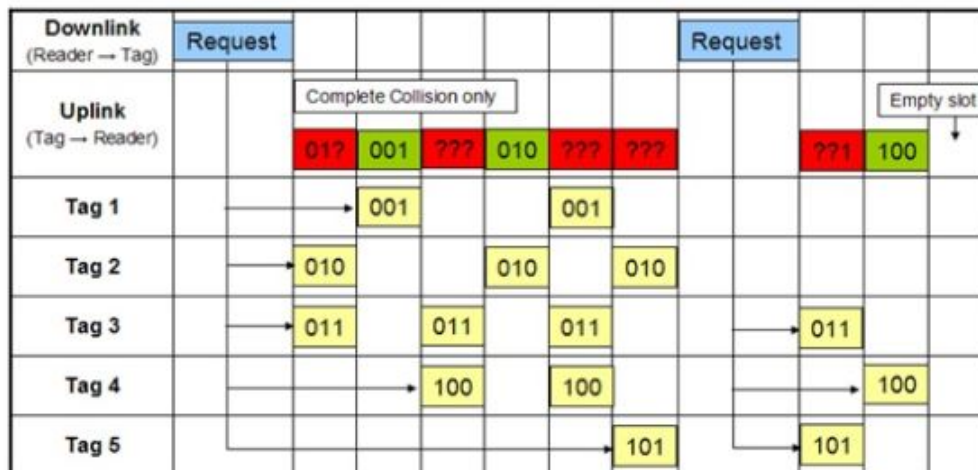


Figura 2.14: Algoritmo anti-colisiones Slotted-ALOHA [22]

La principal ventaja de este algoritmo es que reduce el desperdicio de tiempo en los ciclos de lectura, aunque aún así pueden surgir slots vacíos, y la principal desventaja es que necesita un mecanismo de sincronización para indicar a todos los tags cuándo comienza el slot correspondiente (y al mismo tiempo) [22].

Framed Slotted ALOHA (FSA)

En esta versión mejorada del algoritmo ALOHA, se incorpora el concepto de frame. Un frame se compone de varios slots, por lo que el tag elige un slot de un determinado frame para transmitir su información. En un ciclo de lectura hay varios frames (el tamaño del frame es fijo y es configurado por el lector), y los tags eligen, mediante la generación de un número aleatorio, en qué slot van a transmitir la información (existe una restricción de que solo pueden transmitir en un frame en el mismo ciclo de lectura)[22]. En la figura 2.15, se puede encontrar un ejemplo de transmisión en la que se utiliza este algoritmo.

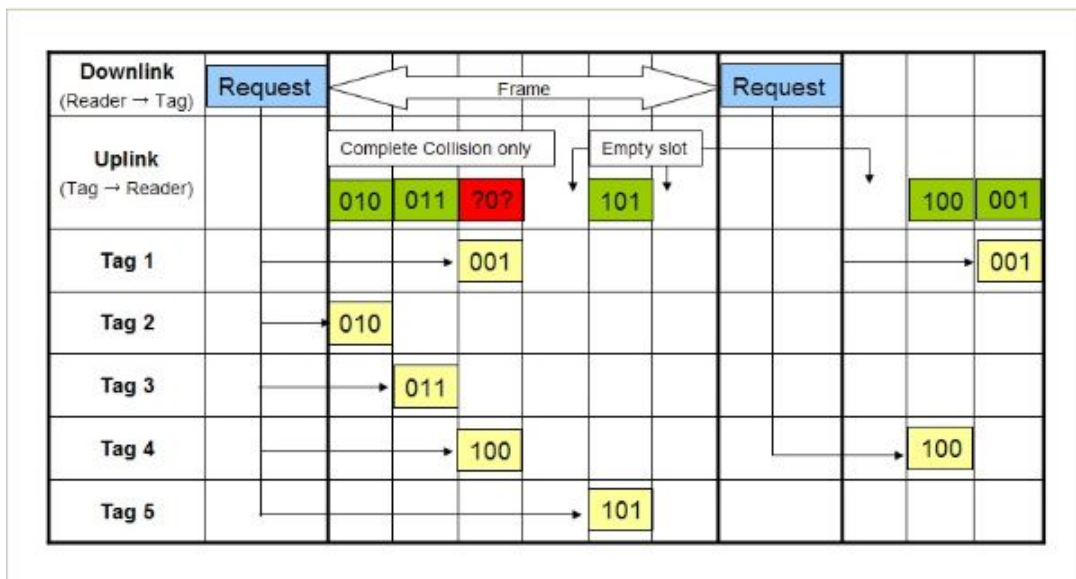


Figura 2.15: Algoritmo anti-colisiones Framed Slotted ALOHA [22]

La principal ventaja de esta aproximación, en comparación con los anteriores, es que reduce el número de colisiones y es el que presenta el mejor rendimiento.

Dynamic Frame Slotted ALOHA (DFSA)

En comparación con el anterior, este algoritmo adapta el tamaño del frame para optimizar la identificación de tags (es más eficiente que FSA). Debido a los distintos métodos que

existen para modificar el tamaño del frame, existen diversas variantes de este algoritmo [9].

Para conocer qué tamaño ha de tener el frame, el algoritmo se basa en el número de slots usados y el número de slots que han colisionado, de forma que si el número de slots colisionados es mayor que un límite superior, el lector aumentará el número de slots del frame, y cuando el número de slots vacíos sea menor que un límite inferior, el lector disminuirá el tamaño del frame[9].

Dado que este algoritmo aporta más ventajas que los anteriores de tipo ALOHA, es el que más extendido se encuentra[9].

Binary Tree

A diferencia de los algoritmos anteriores, el Binary Tree se basa en un modelo de árbol como se puede observar en la figura 2.16. Este algoritmo, en primer lugar divide los tags en dos subconjuntos s_0 y s_1 , el lector realiza la query sobre cada uno de estos conjuntos de forma separada de forma que si no hay colisión en alguno de los dos subconjuntos los tags estarían correctamente identificados. Si por el contrario, se ha producido alguna colisión en alguno de los dos subconjuntos, se vuelve a subdividir el subconjunto conflictivo en otros dos subconjuntos, así hasta que se han identificado correctamente todos los tags del sistema (algoritmo recursivo) [9].

En la query de este algoritmo se envía un prefijo para que únicamente los tags con ese prefijo respondan. Si hay colisiones, en sucesivas iteraciones, se va incorporando un bit a la longitud de este prefijo (produciendo así los distintos subconjuntos).

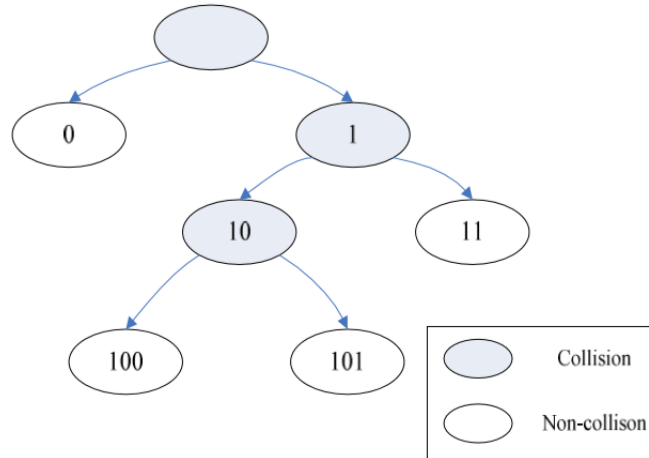


Figura 2.16: Algoritmo anti-colisiones Binary Tree [9]

Algoritmo anticollisión del protocolo Gen2 - Algoritmo Q-Select

Dependiendo del protocolo o del estándar, se utiliza alguno de los algoritmos anti-colisiones anteriormente descritos o una variante de estos: en el EPC Gen 1 se utiliza una variante del algoritmo Binary Tree y en el Gen2 se utiliza una variante del DFSA [9].

Dado que el protocolo Gen2 es el más utilizado, a continuación se explica en profundidad la variante del algoritmo anti-colisiones DFSA que utiliza este protocolo.

El protocolo define que todos los tags han de tener un **Random Number Generator (RNG)** y contador de 15-bits. Los tags son capaces de generar números aleatorios de 16 bits (RN16) utilizando para ello **RNG**, y también son capaces de extraer subconjuntos de Q-bit de un RN16 para cargarlo en el contador. Q es un parámetro que va del 0 al 15 que se especifica en el comando Query (y que el lector puede modificar). Cuando un tag recibe el comando decrease, el tag ha de decrementar el valor de su contador continuo (si el contador disminuye de 0000h, debe volver a empezar en 7FFFh).

Cuando el tag recibe el comando Query, este ha de elegir un número aleatorio de Q-bits de longitud (en el intervalo de $[0, 2^Q-1]$), y cargarlo en el contador. Los tags que tengan en

el contador un valor de 0, han de transmitir su información de forma inmediata, y los que no, han de esperar a sucesivos comandos.

Si el número de respuestas es 1, no hay colisión y por lo tanto el lector ha podido identificar correctamente el tag. En cambio, si el número de respuestas es mayor de 1, se habrá producido colisión y mandará otro comando para decrementar los contadores de los tags. Por último, si no hay respuesta alguna, el lector volverá a mandar el comando query o mandará decrementar el valor de los contadores.

Dependiendo de la colisión, el lector puede mandar ajustar el valor del parámetro Q , y los tags generarían un nuevo número aleatorio (en el intervalo de $[0, 2^Q-1]$) que se volvería a cargar en el contador.

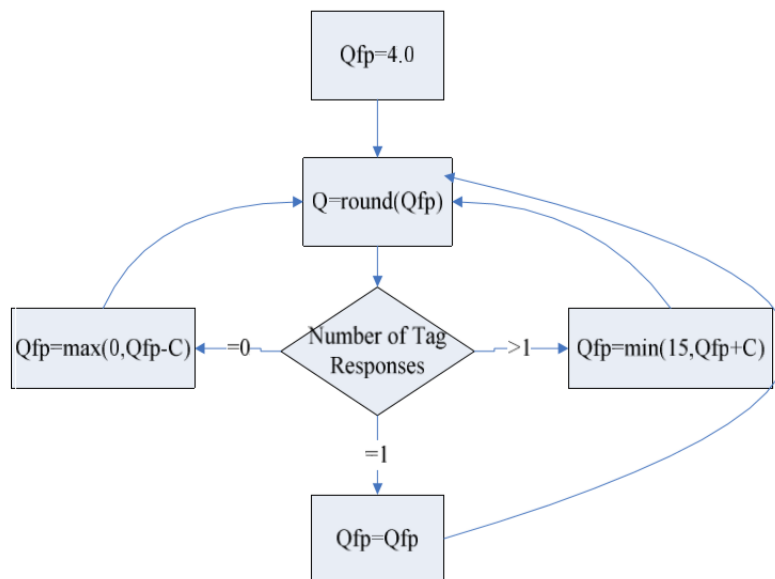


Figura 2.17: Algoritmo Q-Select - Elección del parámetro Q [9]

En la figura 2.17, se puede apreciar el método utilizado para estimar el número de slots del frame (los valores típicos de C , suelen estar comprendidos en el intervalo de $(0.1, 0.5)$):

Comparativa de eficiencia de algoritmos anti-colisión

En la figura 2.18, el algoritmo FSA refleja que cuando el número de slots por frame es menor que el número de tags, se producen muchas colisiones, por lo que el proceso de identificación de tags es costoso. Si por el contrario número de slots por frame es mayor que el número de tags, vemos que cada vez es más costoso por el desperdicio producido en los slots vacíos. Por lo que el algoritmo FSA es más eficiente cuando el número de slots por frame es cercano al número de tags.

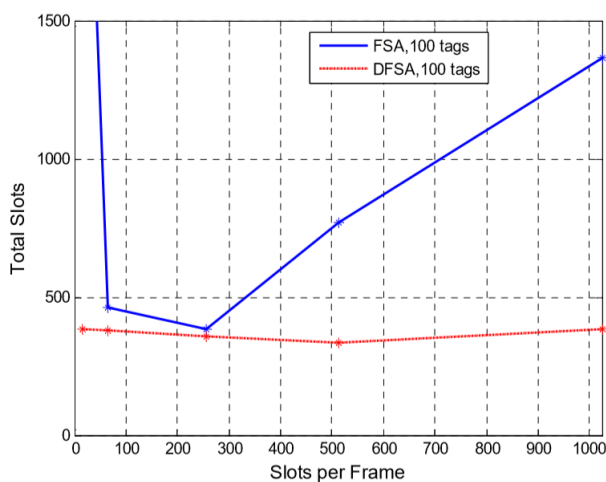


Figura 2.18: Comparación entre FSA y DFSA[9]

En cambio, para el algoritmo DFSA (Q-Select), el número total de slots se modifica ligeramente (sin importar el valor inicial del parámetro Q), por lo que DFSA soluciona los problemas de eficiencia del algoritmo FSA.

En la figura 2.19, se compara la eficiencia entre el algoritmo DFSA (Q-Select) y el Binary Tree en base al número de tags y al número total de slots utilizados, y se puede concluir que el algoritmo DFSA es más eficiente que el Binary Tree cuando el número de tags es menor de 150-200. Para cantidades mayores de tags, el algoritmo Binary Tree es más eficiente.

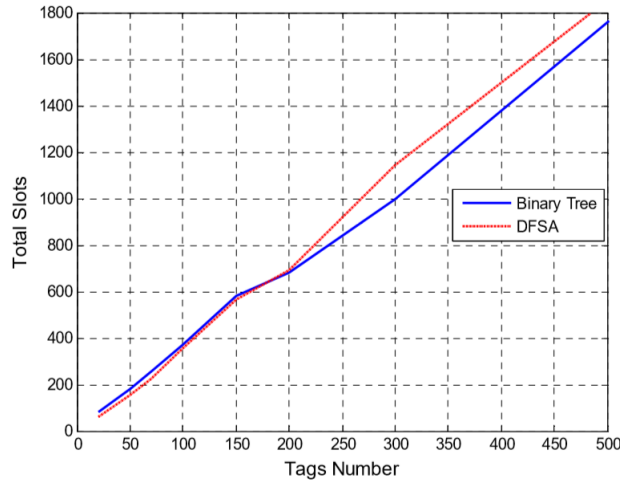


Figura 2.19: Comparación entre DFSA y Binary Tree[9]

2.4.4. Impacto en la salud

Los tejidos que conforman los músculos humanos se encuentran compuestos principalmente por moléculas de H_2O , las cuales absorben la energía de las ondas electromagnéticas, y estas a su vez se utilizan en los sistemas RFID para distintas finalidades [4].

Así, en [4], se ha realizado un análisis del impacto que tienen los sistemas RFID UHF sobre el cuerpo humano (concretamente desde los hombros hasta la cabeza), utilizando para ello el **Specific Absortion Rate (SAR)**. Para ello, han realizado las pruebas con una antena de 1W, 10W y 100W de potencia, con una ganancia de 7.4dB, a distancias de 10cm y 100cm.

Como se puede observar en la figura 2.20, los límites que establece la **Federal Communications Commission (FCC)** se encuentran en un **SAR** máximo de 1.6W/kg (para un tiempo de exposición no superior a 30 minutos) [10], y los resultados a una distancia de 10cm sobrepasan claramente los límites establecidos por la **FCC** de EEUU en el intervalo de 1W-10W, lo cual podría incurrir en efectos perjudiciales para la salud [4].

Según el estudio [3], también se concluye que la proximidad a un emisor de UHF durante un tiempo prolongado puede causar efectos perjudiciales para la salud, y especialmente si

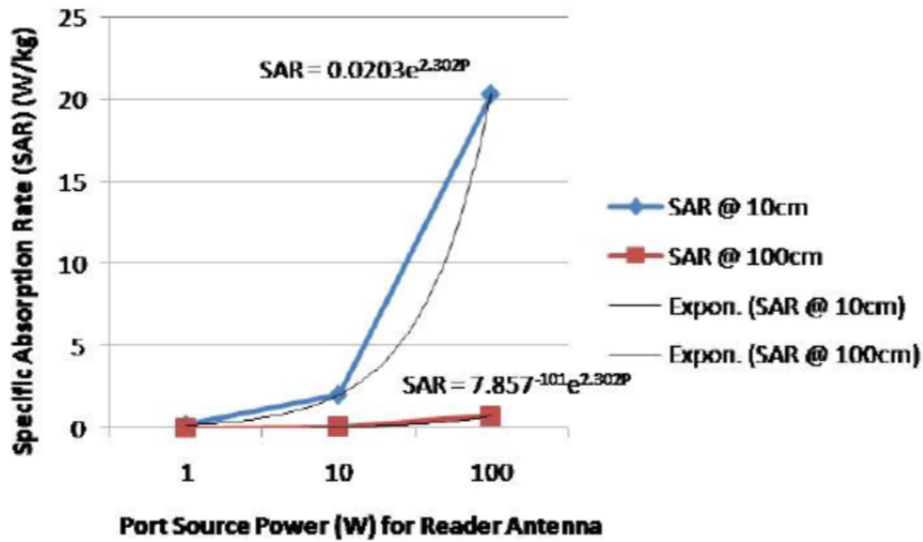


Figura 2.20: Relación entre SAR (W/kg) y Potencia (W) a distancias de 10cm y 100cm[4]

se encuentran cerca de la zona ocular (ya que es la parte más sensible expuesta de la cara).

Para evitar esto, se recomienda que cualquier emisor de ondas UHF se posicione como mínimo a una distancia de 0.5m, y si se posiciona como mínimo a una distancia de 1m, la radiación absorbida se encontraría muy por debajo de los niveles legales máximos exigidos. Además se recomienda que el lector o interrogador exponga radiación de forma interrumpida, es decir, que emita la radiación cuando sea necesario realizar una operación, y se apague o deje de emitir radiación cuando esta finalice para tratar de evitar posibles riesgos (en vez de tenerlo funcionando ininterrumpidamente, con el consumo energético que ello conlleva)[19].

Capítulo 3

RFID: Preliminares

3.1. Entorno

A continuación, se describe el entorno en el que se han realizado estas pruebas iniciales, así como los elementos y/o componentes utilizados para la realización del proyecto.

3.1.1. Tag RFID UHF - Chip Alien H3 AZ9662

Este tag RFID UHF (figura 3.1) tiene las siguientes características principales [18][17]:

- Cumple con las especificaciones del estándar EPC Gen2.
- Funciona desde los 840MHz hasta los 960 MHz, lo cual es ideal para un sistema RFID UHF.
- Cuenta con un circuito integrado Higgs-3, el dispone de distintas memorias (no volátiles), que almacenan la información y controlan el estado del tag:
 - 96-bit TID.
 - 96-bit EPC Memory, extensible a 480-bits.

- 512-bit User Memory.
- 32-bit Access Password.
- 32-bit Kill Password.



ALN-9662-FRA / FSRA
(Dry Unslit / Siit Inlay)

(a) Especificación [18]



(b) Reverso



(c) Anverso

Figura 3.1: Tag RFID Alien H3 AZ9662

3.1.2. Lector RFID UHF - Impinj Speedway-Revolution R220

El Impinj Speedway-Revolution R220 (figura 3.2) es un lector para tags RFID que implementen el protocolo Gen2 UHF, y es el elemento que proporciona comunicación entre las etiquetas RFID y los sistemas IT empresariales o industriales.

Las características principales del lector Impinj R220 son las siguientes:

- Low Power Usage: está diseñado para realizar un consumo de energía muy bajo, mediante la utilización del estándar Power over Ethernet (PoE - IEEE standard 802.3af), el cual también simplifica el despliegue de la solución RFID.
- La potencia de transmisión es de 30dBm.
- Su diseño físico es compacto, lo cual facilita la instalación en espacios reducidos y/o en sistemas empotrados.
- Está diseñado para obtener un alto rendimiento, siendo capaz de leer más de 1100 tags por segundo.
- Implementa el estándar UHF Gen2 y utiliza el protocolo **Low Level Reader Protocol (LLRP)**, lo cual facilita su adaptación y/o compatibilidad a otros sistemas existentes y el establecimiento de la comunicación con el lector para realizar y procesar las distintas peticiones.
- Este modelo consta de 2 puertos para poder conectar 2 antenas independientes, bidireccionales y de comunicación full duplex.
- Dispone de otros puertos para conectarse al lector (por una red con DHCP, por IP directamente - 169.254.1.1, por WiFi o incluso por conexión serie) para realizar las distintas peticiones o incluso para configurarlo.



(a) Puertos de conexiones



(b) Puertos de antenas

Figura 3.2: Lector RFID Impinj Speedway-Revolution R220

3.1.3. Antena Laird PAS69278P-30D43F-SN1612002

La antena utilizada (figura 3.3) para la emisión y recepción de las ondas electromagnéticas es una Laird PAS69278P-30D43F-SN1612002 [25], la cual cuenta con dos puertos independientes de conexión y que opera desde los 698MHz hasta los 2700MHz, pudiéndose utilizar incluso para establecer redes 3G/4G o LTE domésticas.



(a) Parte frontal



(b) Parte posterior

Figura 3.3: Antena Laird PAS69278P-30D43F-SN1612002

Esta antena se conecta al lector mediante dos adaptadores coaxiales, entrelazados entre sí como se muestra en la figura 3.4: adaptador coaxial de 4.3-10 Macho a N Hembra de 6GHz y adaptador coaxial RP-TNC Macho a N Macho 4.3-10.



Figura 3.4: adaptador coaxial de 4.3-10 Macho a N Hembra de 6GHz y adaptador coaxial RP-TNC Macho a N Macho 4.3-10

3.1.4. Otros

Además de los elementos principales anteriormente descritos, también se han utilizado algunos otros elementos como el alimentador (Figura 3.5) de **Power over Ethernet (POE)** del lector (el cual también permite establecer una conexión mediante Ethernet), OctaneSDK (como interfaz para desarrollar aplicaciones en un alto nivel para el lector), Visual Studio y C# (como IDE de desarrollo y lenguaje de programación orientado a objetos).



Figura 3.5: Fuente de alimentación **Power over Ethernet (POE)**

3.2. Pruebas y resultados

3.2.1. Pruebas - TID

TID - Lectura

En la figura 3.6, se puede observar cómo la especificación técnica del tag utilizado se cumple, de forma que los primeros 96 bits son propiamente el TID, y los otros 96 bits son reservados (actualmente no se utilizan, pero en un futuro es posible que se empiecen a utilizar).

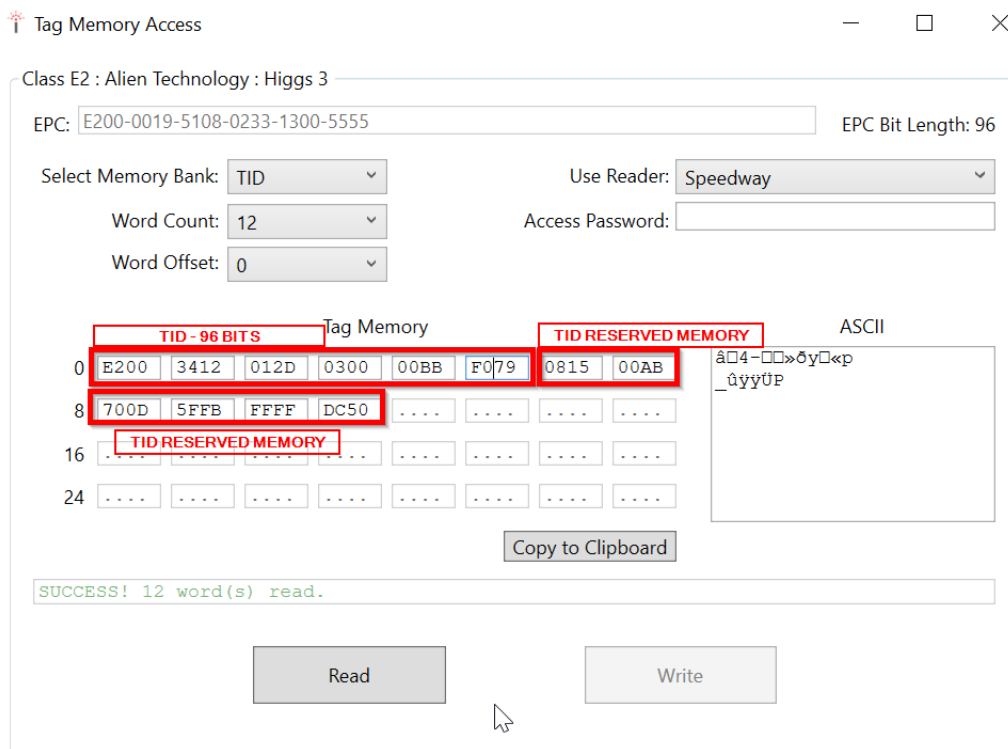


Figura 3.6: Pruebas de lectura sobre área de memoria TID - tag RFID

TID - Escritura

En las pruebas realizadas, se ha comprobado que tal y como indica el estándar Gen2, el campo TID no es modificable (ya que se asigna durante la propia fabricación del tag y este es único de forma global).

3.2.2. Pruebas - EPC

EPC - Lectura

En la figura 3.7, se puede observar cómo el propio software del fabricante nos identifica que tipo de chip utiliza el tag, así como la longitud del EPC.

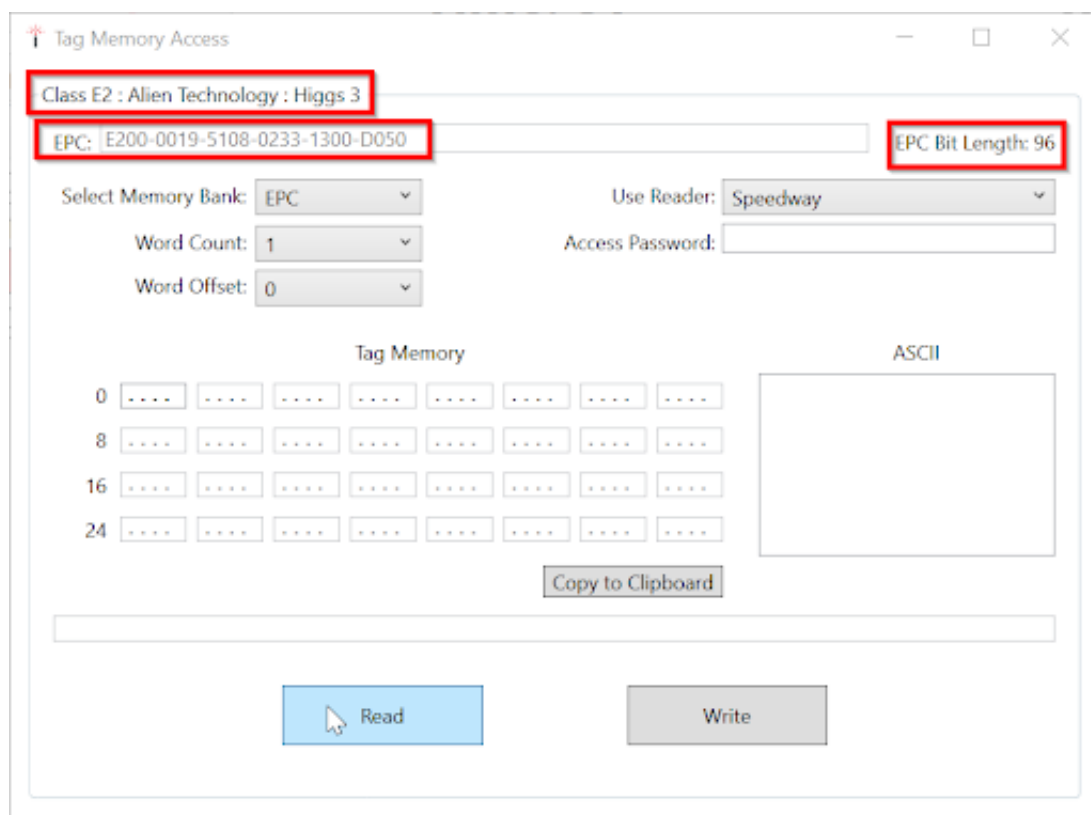


Figura 3.7: Pruebas de lectura sobre área de memoria EPC - tag RFID

Si se configuran los parámetros para realizar la lectura, en la figura 3.8 vemos que hay

que añadir dos palabras (cada palabra ocupa 16 bits) más hasta poder leer el contenido completo de la zona de memoria donde se encuentra el EPC, esto es debido a que en esta zona de memoria se encuentran también los registros del CRC-16 (16 bits) y el PC (16 bits), seguidos de los 96 bits propios del código EPC del tag (el cual lógicamente coincide con el que aparecía al inicio).

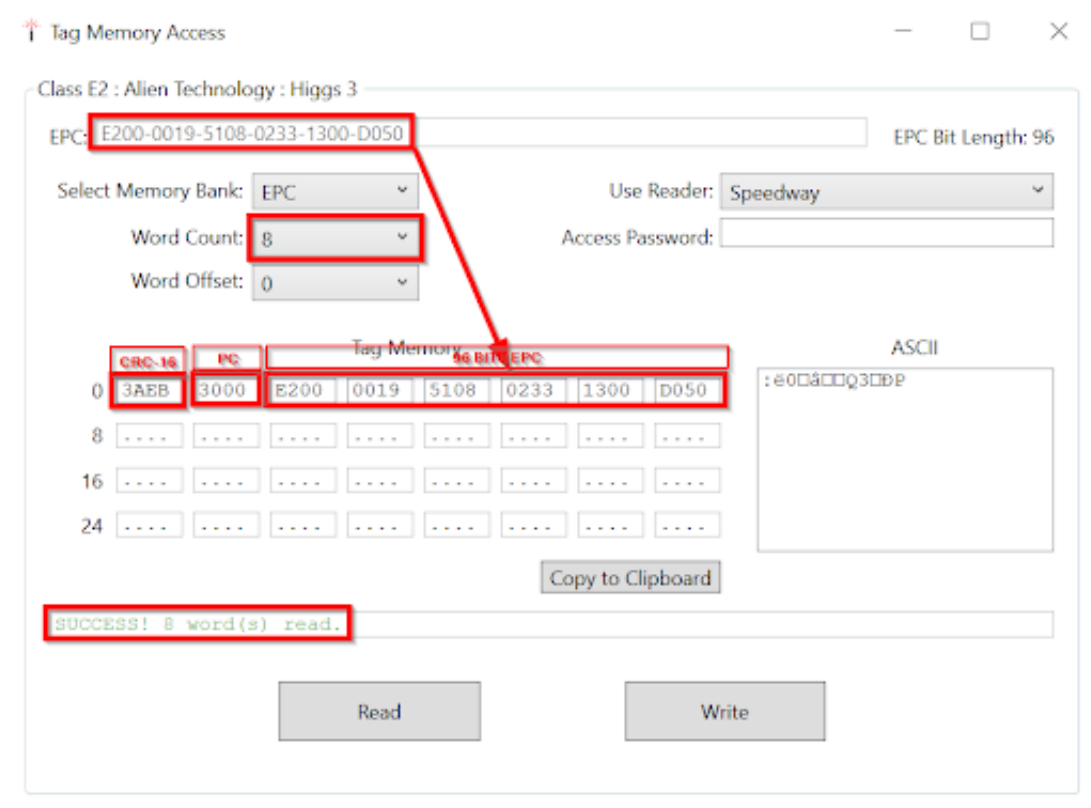


Figura 3.8: Pruebas de lectura sobre área de memoria EPC - tag RFID

EPC - Escritura

En esta prueba, vamos a modificar el valor del EPC, concretamente vamos a modificar la última palabra (16 bits) por el valor “5555” en hexadecimal. No es necesario indicar ningún valor en el campo “Access Password”, ya que las pruebas se han realizado sobre un tag tal cual, es decir, con las passwords por defecto (todos ceros).

Tal y como se muestra en la figura 3.9, configuramos los parámetros para únicamente modificar el registro EPC (es decir, seleccionar EPC, 6 palabras (96 bits), y un offset de 2 palabras para omitir los registros CRC-16 y PC) y vemos que se lee correctamente el valor del campo EPC. En la figura 3.10, se modifica el valor de la última palabra por “5555”, y se envía el comando para escribir, tras lo cual en la figura 3.11 se observa cómo el software nos indica que el valor se ha modificado correctamente, y finalmente, en la figura 3.12, si se vuelve a leer el tag (previamente, hay que volver a escanear nuevamente la zona con el lector, ya que el EPC anterior se ha modificado y el software no es capaz de encontrar un tag con el valor del EPC anterior), se observa que se ha modificado adecuadamente.

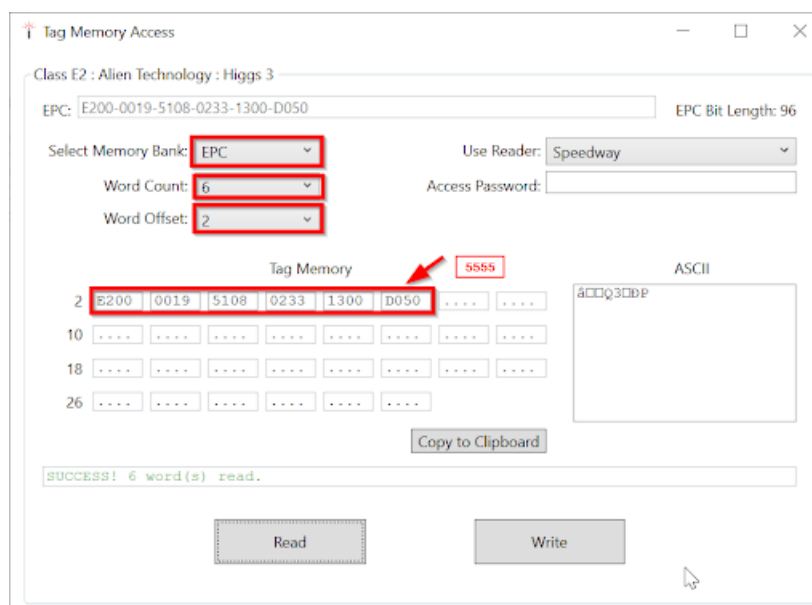


Figura 3.9: Pruebas de escritura sobre área de memoria EPC - tag RFID

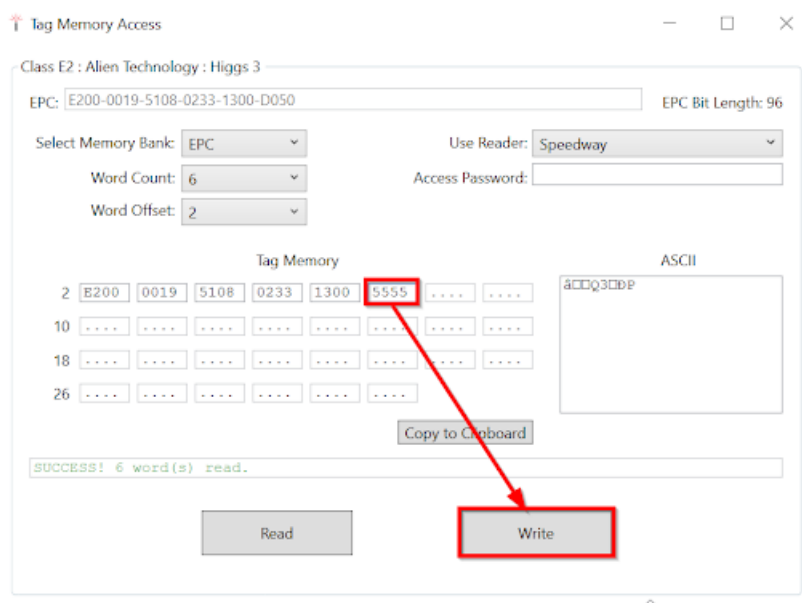


Figura 3.10: Pruebas de escritura sobre área de memoria EPC - tag RFID

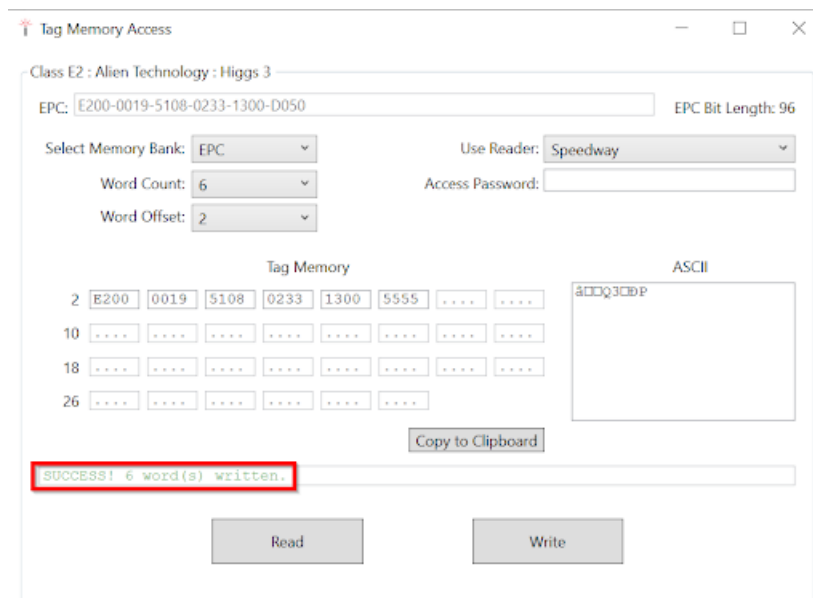


Figura 3.11: Pruebas de escritura sobre área de memoria EPC - tag RFID

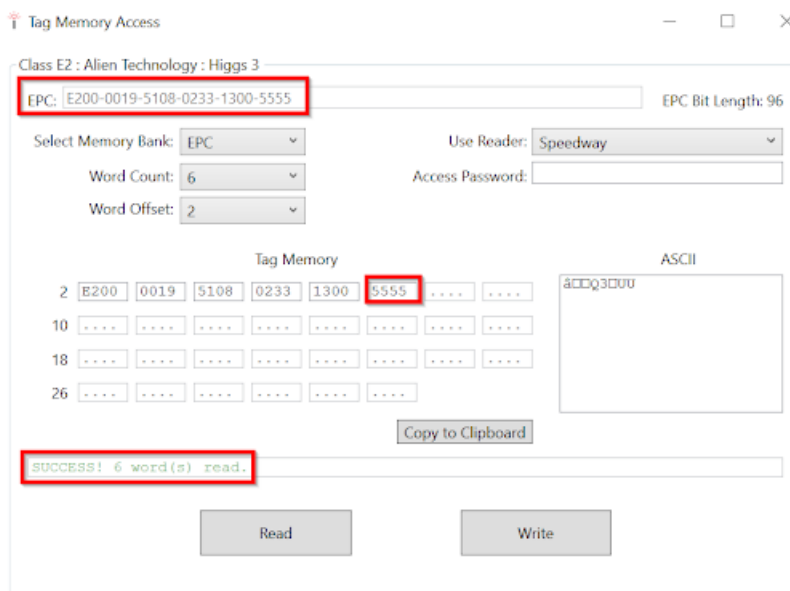


Figura 3.12: Pruebas de escritura sobre área de memoria EPC - tag RFID

3.2.3. Pruebas - User Memory

User Memory - Lectura

En la figura 3.13 se puede comprobar que la zona de memoria User dispone de un total de 32 palabras (512 bits), tal y como viene especificado en las características técnicas del chip del tag, y también se puede apreciar que todos estos valores son todo ceros por defecto.

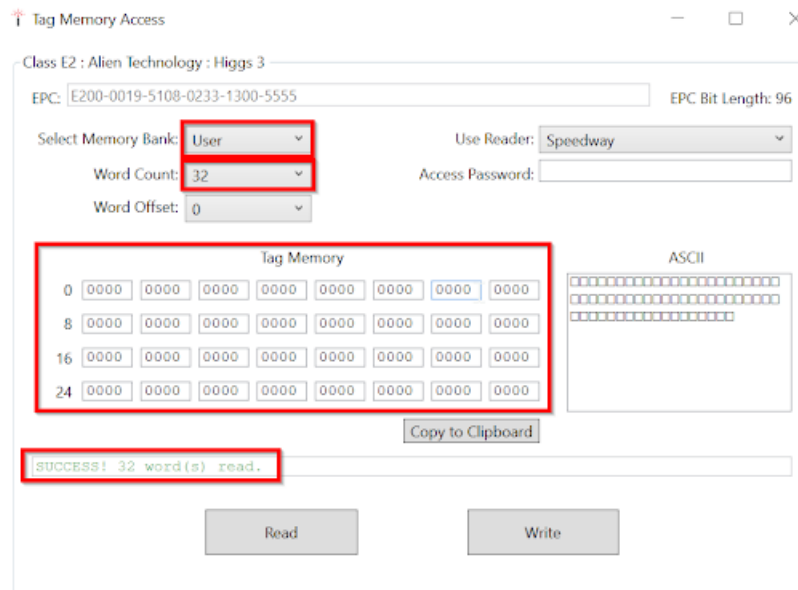


Figura 3.13: Pruebas de lectura sobre área de memoria User - tag RFID

User Memory - Escritura

En esta prueba, vamos a modificar el valor de la zona de memoria User, por otro valor en formato texto, lo cual nos facilita el software directamente convirtiendo de código ASCII a Hexadecimal y/o viceversa. No es necesario indicar ningún valor en el campo “Access Password”, ya que las pruebas se han realizado sobre un tag tal cual, es decir, con las passwords por defecto (todos ceros).

En la figura 3.14, se puede apreciar que al escribir un texto bajo la caja ASCII, se

traduce directamente a código hexadecimal para que sea interpretable por la memoria del tag correspondiente. Tras enviar la petición de escritura al tag con la nueva información, se realiza una petición de lectura para comprobar que realmente se ha modificado el valor correspondiente, y efectivamente es así, tal y como se puede observar en la figura 3.15.

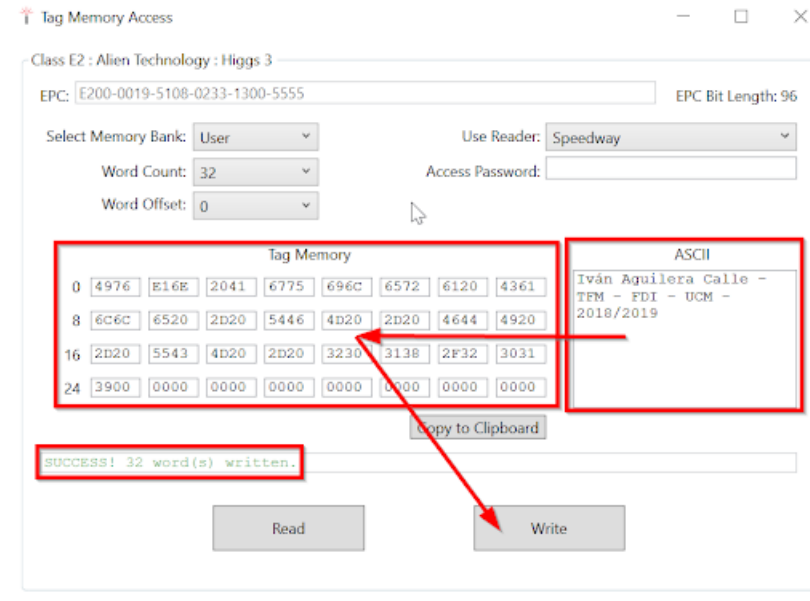


Figura 3.14: Pruebas de escritura sobre área de memoria User - tag RFID

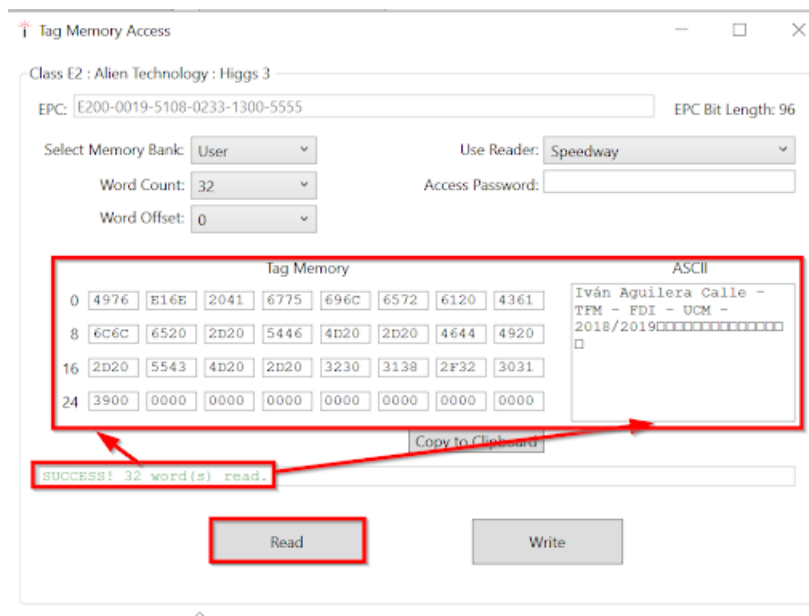


Figura 3.15: Pruebas de escritura sobre área de memoria User - tag RFID

3.2.4. Pruebas - Reserved Memory

Reserved Memory - Lectura

Como se puede apreciar en la figura 3.16, esta zona de memoria ocupa un total de 32 bits (los primeros 16 bits son el Kill Password, y los otros 16, son el Access Password), por lo que la zona de memoria cumple con las especificaciones técnicas del tag utilizado para las pruebas. Por último, se hace hincapié en que dejar visualizar o modificar esta zona de memoria sin introducir previamente el correspondiente Access Password es un riesgo bastante crítico de seguridad para el sistema RFID, ya que se podría modificar masivamente otros campos de los tags utilizados en los sistemas o incluso llegar a incapacitar el tag mediante el comando Kill, lo cual causaría un impacto alto en el servicio si no se dispone de otros sistemas complementarios (QR, código de barras, etc).

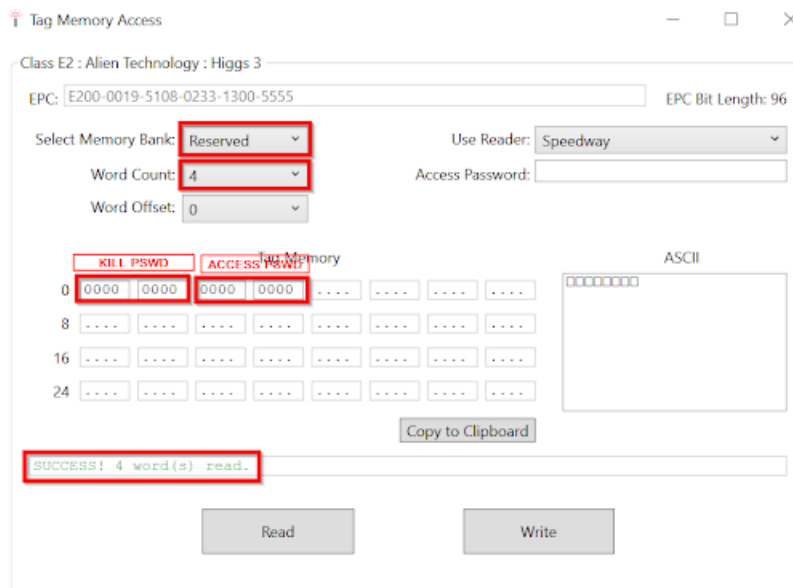


Figura 3.16: Pruebas de lectura sobre área de memoria Reserved - tag RFID

Reserved Memory - Escritura

En las figuras 3.17 y 3.18, se puede apreciar que se puede escribir exitosamente sobre el campo Access Password (de forma similar se haría para modificar el campo Kill Password).

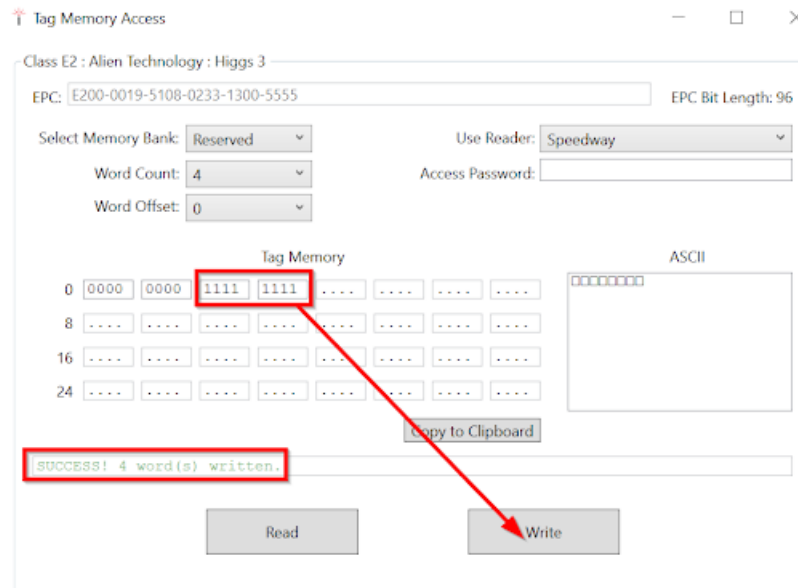


Figura 3.17: Pruebas de escritura sobre área de memoria Reserved - tag RFID

Reserved Memory - Locking Access Password

Como se indica anteriormente, dejar expuesta la zona de memoria de la “Access Password” para que cualquiera pueda modificar los bancos de memoria del tag (excepto el TID, ya que por fabricación y especificación del estándar este banco de memoria no es modificable). Por ello, se deben modificar los valores por defecto de la Reserved Memory (para evitar que sean fácilmente accesibles), y además, hacer un lock de esta zona de memoria para que cualquiera que no disponga del Access Password correspondiente pueda visualizarlo (a menudo este último paso es omitido, pero es crucial para asegurar los tags de un sistema RFID).

Para realizar esta comprobación, se ha seguido el método descrito en [27], para lo cual se

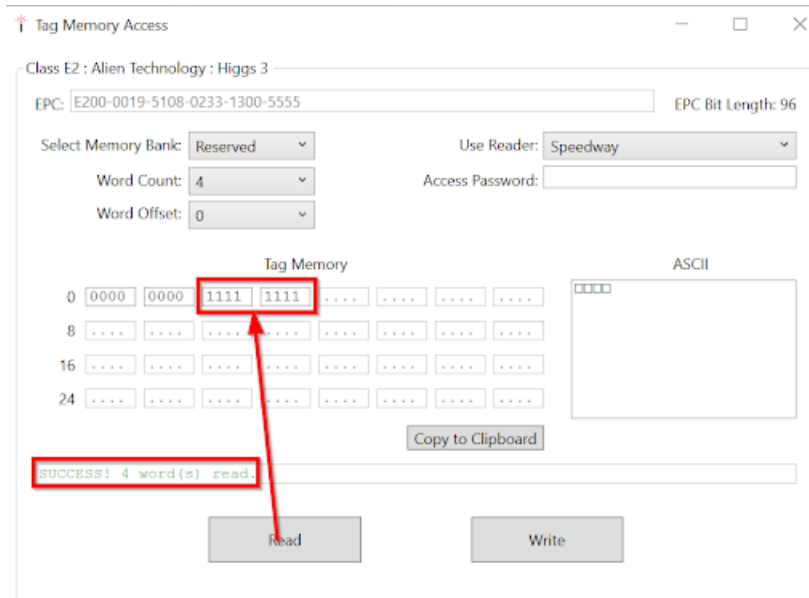


Figura 3.18: Pruebas de escritura sobre área de memoria Reserved - tag RFID

ha implementado un breve programa en C# con OctaneSDK (se puede observar el código principal en la figura 3.19), el cual sirve para realizar operaciones sobre el lector RFID utilizado.

Tras ejecutar el programa, el cual modifica el valor del Access Password a “11112222” y hace un lock de esta zona de memoria, en la figura 3.20 se puede observar que sin introducir el Access Password ya no se puede visualizar la misma. En cambio, en la figura 3.21, tras introducir la correspondiente Access Password, se puede volver a visualizar sin problemas el Access Password.

```
1 ...
2 // Se modifica el Access Password
3 writeOp.AccessPassword = null;
4 writeOp.MemoryBank = MemoryBank.Reserved;
5 writeOp.WordPointer = WordPointers.AccessPassword;
6 writeOp.Data = TagData.FromHexString("11112222");
7
8 // Se hace Lock sobre la Access Password
9 TagLockOp blockLockOp = new TagLockOp();
10 blockLockOp.AccessPasswordLockType = TagLockState.Lock;
11 blockLockOp.AccessPassword = TagData.FromHexString("11112222");
12
13 //Se añaden las operaciones a la secuencia
14 seq.Ops.Add(blockLockOp);
15 reader.AddOpSequence(seq);
16
17 // Se inicia la operación
18 reader.Start();
19 ...
```

Figura 3.19: Código C# para cambiar el Access Password de forma segura

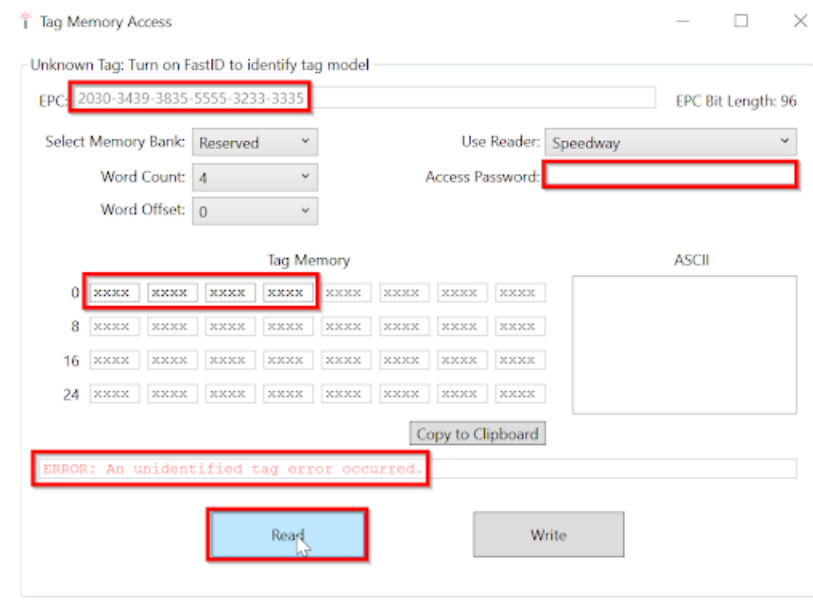


Figura 3.20: Pruebas de locking sobre área de memoria Reserved - tag RFID

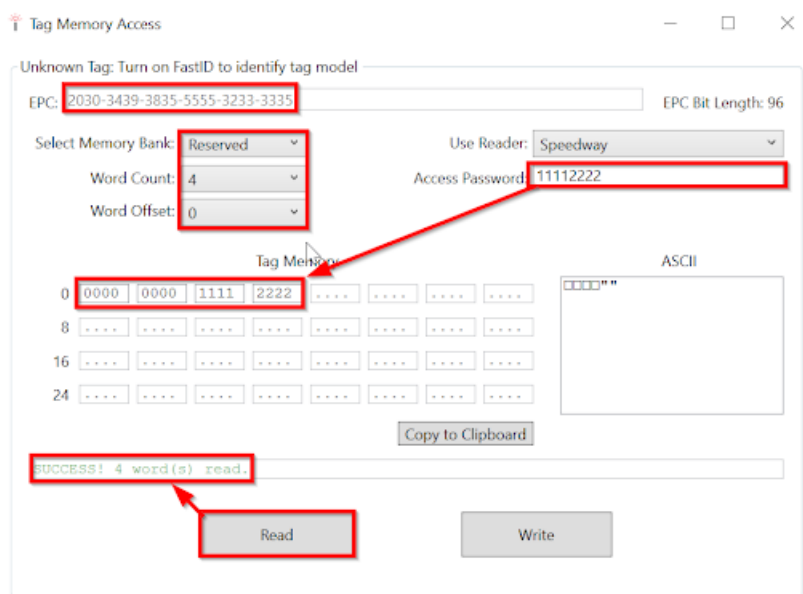


Figura 3.21: Pruebas de locking sobre área de memoria Reserved - tag RFID

Capítulo 4

Experimentación - Análisis de resultados

4.1. Entorno y objetivos

Con el fin de comprender, de valorar y de realizar un análisis en profundidad de la utilización de un sistema con tecnología RFID, se ha llevado a cabo una fase de experimentación y de análisis haciendo uso de la misma en diversos tipos de ambientes o situaciones.

Los elementos o componentes utilizados para realizar las pruebas son los mismos que los que ya se han descrito en el capítulo 3:

- **Tag RFID UHF - Chip Alien H3 AZ9662 3.1.1:** para la realización de las pruebas se han utilizado un total de 30 etiquetas.
- **Lector RFID UHF - Impinj Speedway-Revolution R220 3.1.2.**
- **Antena Laird PAS69278P-30D43F-SN1612002 3.1.3:** se han utilizado 2 antenas para las pruebas.
- **Otros:**
 - Soporte elevado de apoyo de los componentes

- Software de muestreo y recopilación de datos - Impinj Item Test (utilizado también previamente en el capítulo 3)
- Herramientas de procesado, análisis y generación de Gráficas en Python (Pandas, Matplotlib, etc).

En cuanto a los distintos entornos utilizados en las pruebas, se han definido las siguientes situaciones o ambientes para la realización de las mismas:

- **Según el entorno:** si las pruebas se han realizado en espacios cubiertos (**interiores**) o en espacios no cubiertos (**exteriores**). Con esta diferenciación se pretende analizar y comparar los resultados al utilizar RFID en ambos entornos, y así, poder determinar si la elección del entorno influye en significativamente o no en la utilización de RFID, para por ejemplo, proporcionar respuestas a preguntas del tipo: ¿en qué entorno funciona mejor la tecnología RFID? ¿cuánto disminuye la precisión del sistema si lo utilizo en un entorno exterior respecto a uno interior?.

En la figura 4.1 se pueden observar dos imágenes del equipamiento utilizado durante las pruebas, tanto en un espacio interior como en uno exterior.



(a) Equipamiento en Interior - 1 Antena



(b) Equipamiento en Exterior - 1 Antena

Figura 4.1: Equipamiento utilizado para las pruebas en Interior y Exterior con 1 Antena

- **Según la movilidad de las etiquetas:** si las etiquetas RFID se encuentran en movimiento (**móviles**), o si por el contrario, están siempre inmóviles (**fijas**) durante la realización de las pruebas. El principal objetivo de esta diferenciación, es analizar y

comparar la precisión del sistema RFID cuando se encuentra ubicado en un entorno “ideal” (en el cual las etiquetas se encuentran inmóviles en la misma posición, y a distintas distancias de las antenas), con la precisión obtenida en un entorno más cercano “real”, en el que las etiquetas se encuentran en movimiento. Con esta comparación se pretende proporcionar respuesta a preguntas del tipo: ¿cuál es la precisión del sistema RFID cuando las etiquetas se encuentran fijas? ¿y cuándo se desplazan por el espacio?, etc.

En la figura 4.2 se pueden apreciar dos imágenes del equipamiento utilizado cuando las etiquetas se encuentran fijas (cada muestra se recopila para una determinada distancia) o si se desplazan durante el muestreo (“móviles”).



(a) Etiquetas fijas

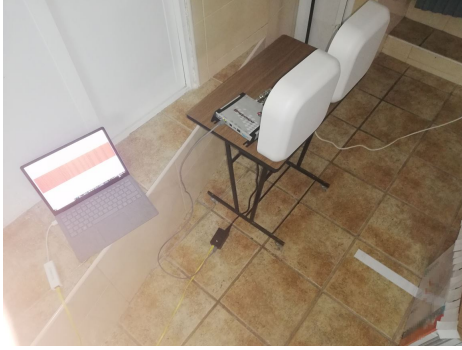


(b) Etiquetas móviles

Figura 4.2: Equipamiento utilizado para las pruebas - Fijo y Móvil

- **Según el número de antenas utilizadas:** si durante el muestreo se han utilizado una o dos antenas, y así poder determinar cómo o cuánto influye el incremento del número de antenas utilizadas en la precisión del sistema RFID. Mediante esta comparación se pretende dar respuesta a preguntas del tipo: ¿la precisión del sistema mejora si en vez de una antena se utilizan dos?, ¿cuanto mejora la precisión si en vez de utilizar una antena, se utilizan dos?, etc.

Como se puede observar en la figura 4.3, se puede observar la utilización de una y dos antenas, en entornos exteriores e interiores.



(a) Equipamiento en Interior - 2 Antenas



(b) Equipamiento en Exterior - 2 Antenas

Figura 4.3: Equipamiento utilizado para las pruebas en Interior y Exterior con 2 Antenas

El código Python desarrollado y utilizado para procesar los datos y generar todas las gráficas presentes en este capítulo, se puede encontrar en el siguiente enlace de GitHub “`.ipynb`”:

[Enlace al Proyecto de GitHub](#)

En los siguientes apartados se profundizará en las distintas pruebas realizadas, los resultados obtenidos y los análisis de los mismos, para finalmente extraer unas conclusiones del presente capítulo.

4.2. Etiquetas Fijas - experimentación y análisis

En los siguientes apartados se detallarán en profundidad las diversas pruebas y análisis realizados al utilizar etiquetas en un estado inmóvil (**fijas**) y a distintas distancias, siguiendo la siguiente estructura “general” a la hora realizar los diversos análisis y poder así comparar de una manera más “fácil” y “ordenada” los resultados y conclusiones:

- **Metodología de las pruebas:** en este primer punto se detalla el procedimiento seguido para realizar la recogida de las muestras de datos.
- **Interiores - experimentación y análisis de resultados**

- Una antena: se realiza un análisis detallado analizando los datos desde distintas perspectivas o puntos de vista y se extraen unas conclusiones.
 - Dos antenas: únicamente se comparan los resultados medios totales (sin desglosar, ya que el razonamiento sería equivalente al realizado en el caso de una antena) con los datos obtenidos, y finalmente se redactan unas conclusiones respecto a la mejora o empeoramiento de las variables analizadas al utilizar dos antenas.
 - Conclusiones: en esta parte se detalla un listado con las principales conclusiones extraídas al analizar los datos con etiquetas **fijas** en espacios **interiores**, utilizando una y dos antenas.
- **Exteriores - experimentación y análisis de resultados**
 - Una y dos antenas: se realiza un análisis comparativo respecto a los resultados medios totales obtenidos para una y dos antenas en interiores.
 - Conclusiones: en esta parte se reflejan las conclusiones obtenidas de la comparación entre utilizar las antenas en el exterior y en el interior.
 - **Conclusiones generales:** en este último punto, y a modo resumen, se listan las principales conclusiones generales obtenidas en el presente apartado.

4.2.1. Metodología de las pruebas

De manera previa a la realización de las pruebas, se ha definido un “procedimiento” con el fin de que, para las distintas pruebas planteadas, se siga siempre el mismo orden definido en el mismo, tanto a la hora de realizar la extracción de los datos (muestreo) como en el momento de realizar los análisis de los mismos. El “procedimiento” se encuentra formado por los siguientes pasos:

1. Se habilita o predispone el entorno colocando el equipamiento disponible sobre una

plataforma elevada de 1 metro de altura (en perpendicular al plano horizontal), se realizan las conexiones necesarias para poder utilizar el software de medida y extracción de muestras (Impinj Item Test), y se realizan distintas marcas de 1 metro de distancia desde la posición en la que se encuentre la antena (para las pruebas realizadas, la distancia máxima utilizada ha sido de 7 metros, tanto en interior como en exterior, ya que no ha sido posible disponer de un espacio con mayores medidas).

2. Se datan las etiquetas RFID (se han utilizado 30 etiquetas RFID) de forma que el EPC de todas ellas contenga una parte “raíz” en común con el mismo valor, para que a la hora de realizar las pruebas se eviten lecturas de etiquetas no incluidas en estas pruebas (“ruido”) y que, por lo tanto, los resultados podrían verse afectados.
3. Se realiza la configuración del software de extracción de muestras del lector RFID (Impinj Item Test):
 - Se establece el filtro del campo EPC al valor de la parte común establecido para todas las etiquetas RFID.
 - Se indica el canal que se va a utilizar (para todas las pruebas se ha mantenido invariable: 865.7MHz).
 - Se configura el parámetro de “Sensitivity” (para todas las pruebas se ha mantenido constante: -70dBm).
 - Se configura el tipo de muestreo que se va a realizar: se ha configurado un “Margin Test”, de 10 segundos por cada muestra. En cada muestra que se recopila, las etiquetas se encuentran en una distancia fija de la antena, y cada muestra se toma con distinta potencia, la cual va aumentando desde los 10dBm hasta los 30dBm en incrementos de 2dBm, lo cual proporciona un total de 11 muestras de 10 segundos por cada distancia y por cada número de etiquetas utilizadas.
4. Con los pasos anteriores completados, se inicia la recogida y obtención de muestras,

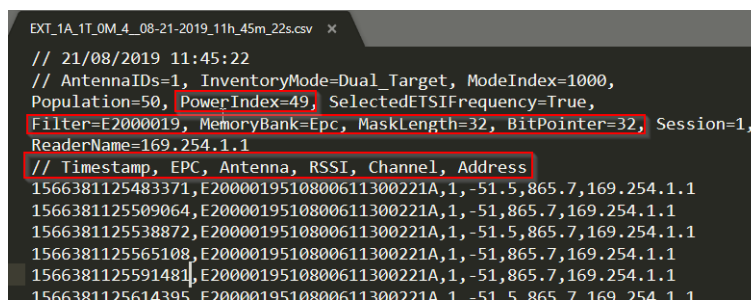
de modo que:

I Para cada entorno (externo, interno), para cada número de antenas utilizado (1 o 2 antenas), para cada distancia (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7m; siendo 0m el punto de referencia más cercano a la antena) y para cada número de etiquetas (1, 2, 5, 10, 20, 30), se inicia el muestreo y recopilación de información (cada una de las muestras de datos son 10 segundos de “monitorización” a una determinada potencia, la cual se va incrementado desde el mínimo de 10dBm, hasta el máximo de 30dBm).

II Se almacenan cada una de las distintas muestras en ficheros “.csv” (por cada entorno hay un total = 2 entornos x 2 antenas x 8 distancias x 6 cant. de etiquetas x 11 potencias = 2112 ficheros) con una notación o patrón característico que identifica unívocamente a la muestra:

```
<INT/EXT>_<N.antenas>A_<N.etiquetas>T_<Distancia>M_Fecha.csv
```

Cada uno de los archivos con los datos en bruto “.csv” refleja el aspecto de la figura 4.4, y entre otros datos se puede observar la potencia que se ha utilizado para la recogida de esa muestra, los filtros que se han establecido, el timestamp de cada muestra (en microsegundos), el EPC del tag detectado y el RSSI recibido del tag.



```
EXT_1A_1T_0M_4_08-21-2019_11h_45m_22s.csv x
// 21/08/2019 11:45:22
// AntennaIDs=1, InventoryMode=Dual_Target, ModeIndex=1000,
Population=50, PowerIndex=49, SelectedETSIFrequency=True,
Filter=E2000019, MemoryBank=Epc, MaskLength=32, BitPointer=32, Session=1,
ReaderName=169.254.1.1
// Timestamp, EPC, Antenna, RSSI, Channel, Address
1566381125483371,E2000019510800611300221A,1,-51.5,865.7,169.254.1.1
1566381125509064,E2000019510800611300221A,1,-51,865.7,169.254.1.1
1566381125538872,E2000019510800611300221A,1,-51.5,865.7,169.254.1.1
1566381125565108,E2000019510800611300221A,1,-51,865.7,169.254.1.1
1566381125591481,E2000019510800611300221A,1,-51,865.7,169.254.1.1
1566381125614395,E2000019510800611300221A,1,-51.5,865.7,169.254.1.1
```

Figura 4.4: Estructura de un fichero de muestra de datos

5. Por último, se han utilizado de herramientas de análisis de datos (Pandas, Numpy) y herramientas gráficas en Python (Matplotlib) con el fin de:

I Limpiar las muestras de posibles errores de generación.

Durante este paso, se han encontrado varios ficheros “.csv” dañados en los que, en la mayoría de los casos, el error/fallo consistía en que las líneas de las cabeceras del fichero aparecían posteriormente a los datos de algunas muestras.

II Procesar la información y realizar cálculos mediante las herramientas o facilidades que ofrece Pandas para realizar los análisis de datos.

III Generar las diversas gráficas con Matplotlib para facilitar la comprensión o razonamiento de los resultados.

Tras el procesamiento de los datos, el DataFrame que contiene toda la información recogida durante las pruebas tiene el aspecto que refleja la figura 4.5. Las características o columnas destacables son:

- Timestamp: instante de tiempo en el que se tomó la muestra, en microsegundos.
- EPC: código identificativo de cada una de las etiquetas.
- RSSI: escala de fuerza o medida de la señal recibida de la etiqueta (en referencia a 1 mW). En general, los valores en esta escala son negativos, donde el 0 representa una potencia equivalente a 0 dBm (decibelios por miliwatio), y cuanto menor es esta (más negativa), mayor es la pérdida de la señal.
- Used Antennas: número de antenas que se utilizó en el instante de recogida de la muestra.
- Used Tags: número de etiquetas que se utilizó en el instante de recogida de la muestra.
- Distance: distancia de la antena a la etiqueta cuando se tomó la muestra, en metros.
- Power: potencia de transmisión (Tx) de la antena, en dBm (decibelios por miliwatio). Cuanto mayor es esta potencia, mayor es la distancia que alcanzan las

ondas electromagnéticas de la antena.

- Delta: tiempo transcurrido (en segundos) desde que se detectó la etiqueta por última vez.

Timestamp	EPC	Antenna	RSSI	Used Antennas	Used Tags	Distance	Power	Delta
2019-08-20 16:25:22.902783	E200001951080091130040BD	1	-71.0	1	30	6	30	NaN
2019-08-20 16:28:47.417415	E20000195108010013004592	1	-71.5	1	30	7	28	NaN
2019-08-20 16:28:47.466243	E20000195108010013004592	1	-71.5	1	30	7	28	0.048828
2019-08-20 16:28:47.527216	E20000195108010013004592	1	-71.5	1	30	7	28	0.060973
2019-08-20 16:28:47.633728	E20000195108010013004592	1	-71.5	1	30	7	28	0.106512

Figura 4.5: Estructura del dataframe tras el procesado

4.2.2. Interiores - experimentación y análisis de resultados

En este apartado se detallan los resultados procedentes del análisis de datos de las muestras recogidas en un espacio “**interior**” y las principales conclusiones obtenidas.

Para ello, se han analizado las distintas relaciones entre las variables (RSSI, ratio de detección y tiempo entre lecturas) de las muestras con el fin de poder extraer distintas conclusiones y así, poder responder a preguntas del tipo: ¿cómo influye el número de etiquetas en el RSSI? ¿cómo afecta el incremento de la distancia el porcentaje de aciertos de etiquetas leídas frente al total? ¿cuánto influye la selección de la potencia en el porcentaje de etiquetas leídas?, etc.

Experimentación con una antena

A continuación, se van a analizar las siguientes relaciones, argumentando para cada una su razonamiento y las principales conclusiones:

- Relación entre RSSI y:

- Distancia (general y desglosado además por las potencias utilizadas y el número de etiquetas utilizadas durante las pruebas) - Figura 4.6

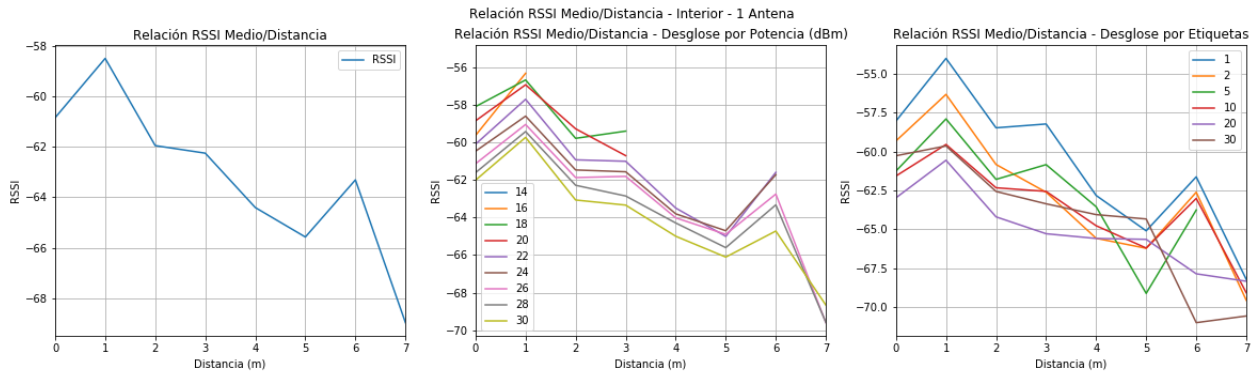


Figura 4.6: Relación RSSI medio/Distancia - Interior - 1 Antena

- Tablas: [A.1](#), [A.2](#) y [A.3](#) del Anexo A
- Análisis: al analizar la primera de las gráficas de la figura 4.6, se observa el RSSI medio disminuye según se incrementa la distancia (es razonable, ya que cuanto mayor sea la distancia, menor será el RSSI detectado de la etiqueta). Por ejemplo, si para una distancia de 1 metro, el RSSI medio es de -58.50 RSSI, para 5 metros el RSSI medio es de -65.60, lo cual supone una reducción/empeoramiento medio del 11 % en la calidad del enlace (este porcentaje de empeoramiento aumenta hasta el 16 % en el caso una distancia de 7 metros).

También se puede observar en la segunda gráfica que, en el desglose por potencias de transmisión de la antena, el RSSI medio es menor/empeora cuanto mayor es la potencia de transmisión Tx a la que se está muestreando. Esto último es razonable, ya que cuanto mayor es la potencia de transmisión Tx, mayor es el número de etiquetas que se detectan a mayores distancias (lo cual causa que, en media, el RSSI vaya disminuyendo/empeorando cuanto mayor sea la potencia de transmisión Tx utilizada [33]).

Por último, en la última de las 3 gráficas, en la que se observa el RSSI medio

desglosado por el número de etiquetas utilizadas, se observa que cuanto mayor es el número de etiquetas utilizadas, la calidad del enlace (definido por el RSSI) disminuye/empeora. Este comportamiento es esperable, ya que el número de colisiones aumenta cuanto mayor es el número de etiquetas utilizadas (lo cual está estrechamente relacionado con el algoritmo anti-colisiones).

○ Conclusiones:

- ◇ El RSSI medio disminuye cuanto mayor es la distancia de toma de las muestras. Por ejemplo, de una distancia de un metro a otra distancia de cinco metros, el porcentaje medio de empeoramiento del RSSI es del 11 %.
- ◇ Desglosado por potencias de transmisión (Tx), el RSSI medio también disminuye cuanto mayor es la potencia de transmisión Tx utilizada.
- ◇ Desglosado por número de etiquetas utilizadas, el RSSI medio también disminuye cuanto mayor es el número de etiquetas.

- Potencia (general y desglosado por las distancias utilizadas y el número de etiquetas utilizadas durante las pruebas) - Figura 4.7

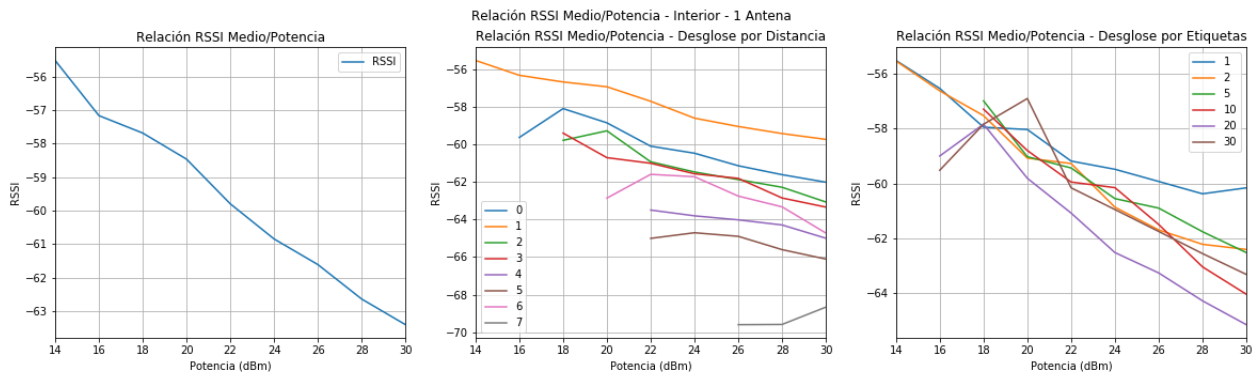


Figura 4.7: Relación RSSI medio/Potencia - Interior - 1 Antena

- Tablas: A.4, A.5 y A.6 del Anexo A
- Análisis: si se analiza la primera gráfica de las tres de la figura 4.7, se puede

observar claramente lo que se ha concluido anteriormente, es decir, el RSSI medio disminuye cuanto mayor es la potencia de transmisión Tx de la antena. Esto se debe a que cuanto mayor es Tx, se logran alcanzar mayores distancias y un mayor número de etiquetas, lo cual causa que el RSSI medio disminuya/empeore de forma “lineal” (ya que cuanto mayor es la distancia, el RSSI medio también disminuye). Por ejemplo, para una potencia de 14dBm el RSSI medio es de -55.52, y para una potencia de 30dBm, el RSSI medio es de -63.4, lo cual supone una disminución/empeoramiento medio del 13% en la calidad del enlace.

En la segunda gráfica, en la que aparece el desglose por distancias, se puede deducir lo ya concluido en razonamientos anteriores (visto desde otra perspectiva), es decir, el RSSI medio es menor/empeora cuanto mayor es la distancia. Esto es debido a que cuanto mayor es la distancia, el RSSI recibido de la señal será menor, y por tanto, la calidad del enlace será peor.

Por último, en la última de las tres gráficas y con las muestras de datos recopiladas, no se puede concluir que cuanto mayor sea el número de etiquetas utilizadas, sea menor la media del RSSI, ya que por ejemplo, cuando se utilizan 20 etiquetas, el RSSI medio se sitúa por debajo (empeora) que cuando se usan 30 etiquetas.

o Conclusiones:

- ◇ El RSSI medio disminuye/empeora de forma “lineal” cuanto mayor es la potencia de transmisión utilizada. Por ejemplo, variar Tx de 14dBm a 30dBm, supone un empeoramiento del 13% en el RSSI medio.
- ◇ Desglosado por distancias, el RSSI medio es menor cuanto mayor es la potencia Tx utilizada.
- ◇ Desglosado por número de etiquetas, los resultados con las muestras obtenidas no son concluyentes, y no parecen indicar que haya una relación

“definida” entre el número de etiquetas y potencias Tx utilizadas y el RSSI medio obtenido.

- Número de etiquetas utilizadas (general y desglosado por las distancias y potencias utilizadas) - Figura 4.8

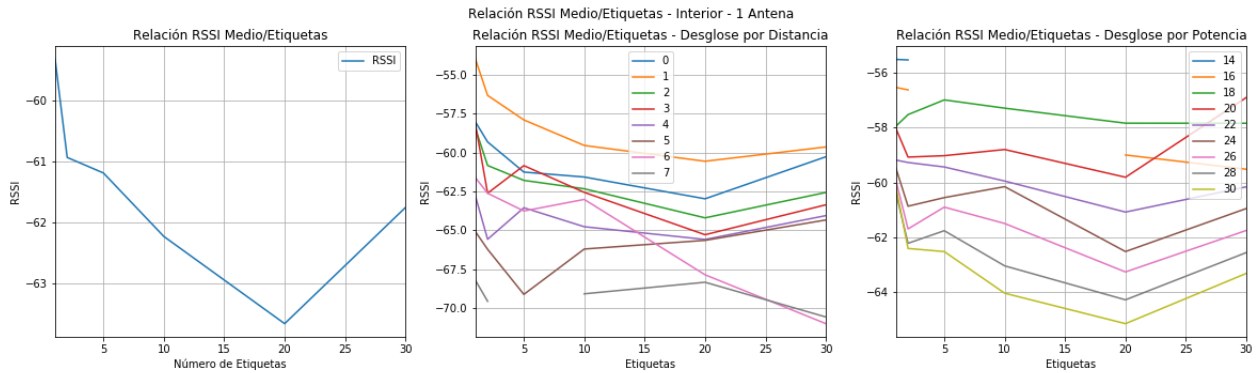


Figura 4.8: Relación RSSI medio/Etiquetas - Interior - 1 Antena

- Tablas: A.7, A.8 y A.9 del Anexo A
- Análisis: al analizar la primera de las tres gráficas de la figura 4.8, se puede observar que el RSSI medio disminuye a medida que aumenta el número de etiquetas utilizadas (aunque como se puede observar, con la muestra de datos disponible, el RSSI medio al utilizar 30 etiquetas mejora respecto al utilizar 20, por lo que no es del todo concluyente, esto puede deberse a distintas circunstancias, como el entorno). Esto es debido a que cuanto mayor es el número de etiquetas presentes en el entorno, mayor es el número de colisiones que se producen, lo cual causa esta disminución/empeoramiento del RSSI, y por lo tanto, de la calidad del enlace.

En la segunda gráfica, aparecen los datos desglosados por distancias, y se puede concluir lo mismo que en anteriores razonamientos, es decir, que el RSSI medio disminuye/empeora cuanto mayor es la distancia. Esto se debe a que cuanto mayor es la distancia, la calidad del enlace (RSSI) disminuye.

Por último, en la tercera gráfica aparecen los datos desglosados por potencias de transmisión Tx, y se puede deducir desde otra perspectiva lo ya concluido en razonamientos anteriores: cuanto mayor es la potencia de transmisión Tx, menor/peor es el valor del RSSI medio. Esto se debe a que cuanto mayor es Tx, se alcanzan mayores distancias y también mayor número de etiquetas, lo cual causa una disminución del RSSI.

- Conclusiones:
 - ◇ El RSSI medio disminuye cuanto mayor es el número de etiquetas utilizado.
 - ◇ Desglosado por distancias, el RSSI medio disminuye cuanto mayor es la distancia.
 - ◇ Desglosado por potencias de transmisión, a mayores potencias de transmisión, peor es el valor del RSSI medio.
- Relación entre el porcentaje etiquetas leídas (del total utilizadas) y:
 - Distancia (general y desglosado además por las potencias utilizadas y el número de etiquetas utilizadas durante las pruebas) - Figura 4.9

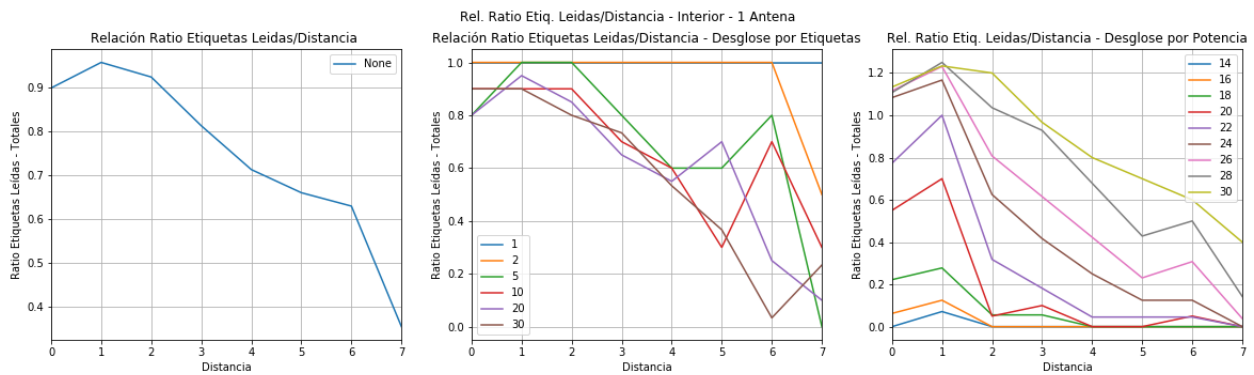


Figura 4.9: Relación Ratio Etiquetas Leídas/Distancia - Interior - 1 Antena

- Tablas: [A.10](#), [A.11](#) y [A.12](#) del Anexo A

- Análisis: en la primera gráfica de la figura 4.9 se puede apreciar como el ratio medio de etiquetas detectadas disminuye/empeora cuanto mayor es la distancia, es decir, cuanto más lejos se encuentran las etiquetas de la antena, el ratio es menor. Por ejemplo, para 1 metro de distancia, el porcentaje medio de detección medio es de un 95 %, mientras que para una distancia de 7 metros es de un 35 %, lo cual supone una disminución del 60 %.

Si se analiza la segunda gráfica, en la que aparece la información desglosada por número de etiquetas utilizadas, se puede observar que cuanto menor es el número de etiquetas utilizadas, mayor es el porcentaje de acierto. Esto se debe a que cuanto menos etiquetas hay presentes en el entorno, se producen menores colisiones y por lo tanto el ratio de detección medio aumenta. Por ejemplo, para una etiqueta el porcentaje de detección es del 100 % (en todas las distancias) y cuando se utilizan 30 etiquetas a una distancia de 7 metros, este porcentaje disminuye hasta el 23 %, lo cual supone, una pérdida del 77 % (esto para entornos en los que no existen obstáculos intermedios entre la etiqueta y la antena).

En cuanto a la última gráfica de las tres, se puede observar que el porcentaje de detección medio está relacionado directamente con la potencia de transmisión Tx utilizada, ya que a mayores Tx, mayor es el porcentaje de detección medio. El motivo de este incremento, como ya se ha explicado anteriormente, ocurre porque cuanto mayor es Tx, más potencia se libera al entorno, y las etiquetas pueden transmitir su respuesta de vuelta a la antena a mayores distancias, por lo tanto el ratio de detección medio aumenta. Si se comparan los datos, se puede observar que para una distancia de 6 metros y una potencia Tx de 30dBm, el porcentaje medio de detección se sitúa en el 60 %, mientras que para la misma distancia y un Tx de 24dBm, el porcentaje se sitúa en el 12.5 %, lo cual supone una reducción en el ratio de detección

medio del 47.5 %

○ Conclusiones:

- ◇ El ratio de detección medio de etiquetas (detectadas/total), disminuye cuanto mayor es la distancia. Por ejemplo, de 1 metro a 7 metros, el ratio de detección medio tiene una pérdida del 60 %.
- ◇ Cuanto menor es el número de etiquetas totales, el ratio de detección se incrementa. Por ejemplo, de utilizar 30 etiquetas a utilizar 1 etiqueta, el incremento del ratio de detección es de un 77 %.
- ◇ Cuanto mayor es la potencia de transmisión Tx, mayor es el porcentaje de detección. Por ejemplo, para una distancia de 6 metros, y aumentando Tx de 24dBm a 30dBm, el incremento del ratio de detección medio se sitúa en el 47.5 %.

- Potencia (general y desglosado el número de etiquetas utilizadas durante las pruebas) - Figura 4.10

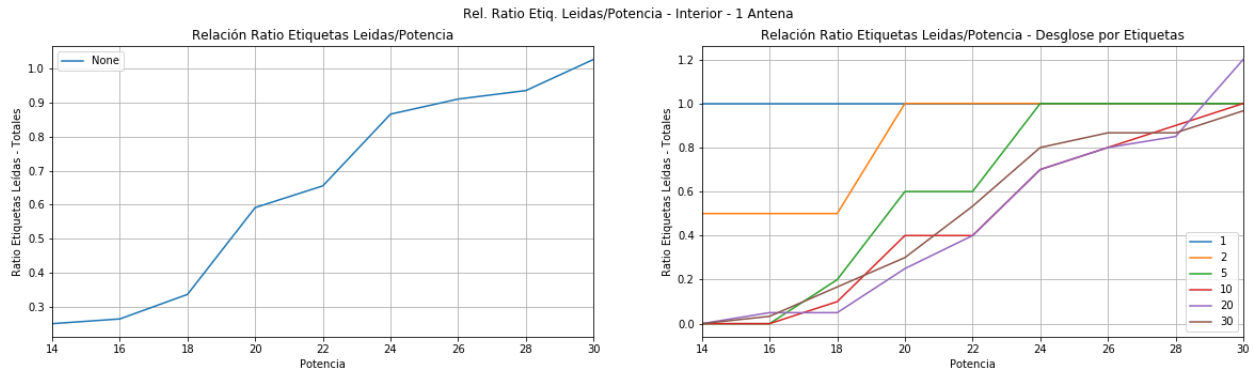


Figura 4.10: Relación Ratio Etiquetas Leídas/Potencia - Interior - 1 Antena

- Tablas: A.13 y A.14 del Anexo A
- Análisis: si se analiza la primera gráfica de la figura 4.10, el ratio de detección medio de etiquetas, aumenta cuanto mayor es la potencia de transmisión Tx. Esto se debe a que a mayores Tx se transmite una mayor cantidad de “energía”

al medio, y por lo tanto, las etiquetas devuelven la respuesta con mayor potencia, la cual puede recibir y procesar la antenas (en cambio, con bajas Tx, las etiquetas devolverían una respuesta con una potencia de transmisión insuficiente para que la antena pueda captarla y procesarla). Por ejemplo, para una Tx de 20 dBm el porcentaje medio de detección es del 59 %, mientras que para una Tx de 28 dBm, el porcentaje se sitúa en el 93.6 %, lo cual supone un incremento del 34 % del ratio de detección medio. Nótese que si se observa más detenidamente la gráfica, se puede deducir que para 30dBm el ratio de detección medio se sitúa por encima del 100 %, lo cual puede llevar a causar alguna confusión, pero este error se debe a que durante el proceso de muestreo y recogida de datos, se han detectado un mayor número de etiquetas que las establecidas para alguna de las muestras (esto es posible, debido a las altas prestaciones de la antena, y a que el armario de metal utilizado a modo de “barrera”, en el cual se introducían las etiquetas que no formaban parte del experimento, no se hubiera cerrado totalmente, detectándose así un mayor número de etiquetas que el establecido para la muestra), por lo que este dato supone una introducción de un cierto “ruido” en los resultados de las pruebas (aunque la tendencia incremental que se aprecia en esta gráfica y en el resto, se ven ligeramente afectadas).

Al analizar la segunda gráfica, se puede deducir que cuanto mayor es el número de etiquetas utilizadas, menor es el ratio de detección medio. Esto se debe a que, como ya se ha deducido en anteriores razonamientos, cuantas más etiquetas existan en el medio, existirá un mayor número de colisiones, las cuales son las principales culpables de esta disminución del ratio medio de detección. Por ejemplo, para una potencia Tx de 20dBm, con 5 etiquetas el porcentaje de detección medio se sitúa en el 60 %, mientras que con 30 etiquetas, se sitúa en 30 %, lo cual supone una disminución del ratio de

detección medio de 30 %.

○ Conclusiones:

- ◇ El ratio de detección medio se incrementa cuanto mayor es la potencia de transmisión Tx (en media). Por ejemplo, si se varía Tx de 20dBm a 28dBm, se obtiene una mejora del 34 % en el ratio de detección medio.
- ◇ A mayor número de etiquetas presentes, menor es el ratio medio de detección. Por ejemplo, para una Tx de 20dBm, si se varía de 5 etiquetas a 30, la disminución en cuanto al ratio de detección se sitúa en el 30 %.

● Número de etiquetas utilizadas (general y desglosado por las distancias y potencias utilizadas) - Figura 4.11

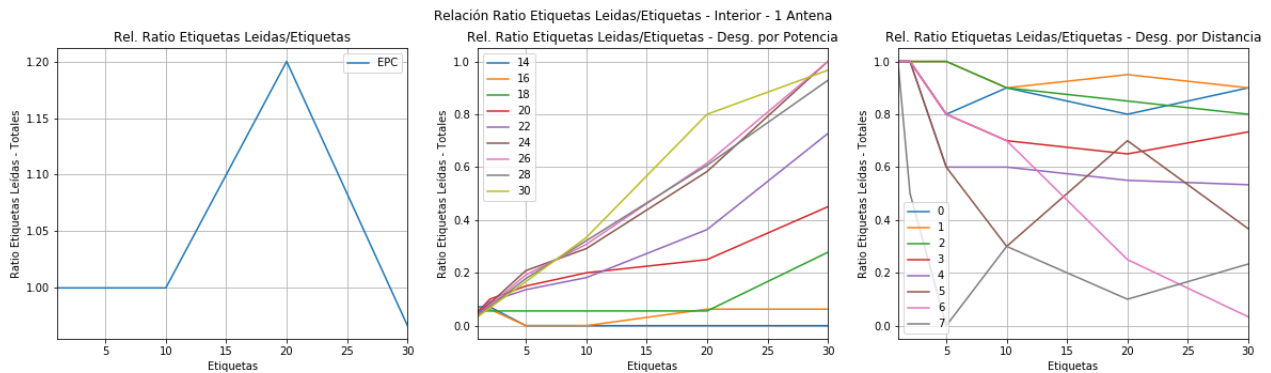


Figura 4.11: Relación Ratio Etiquetas Leídas/Etiquetas - Interior - 1 Antena

- Tablas: A.15, A.16 y A.17 del Anexo A
- Análisis: si se analiza la primera gráfica de la figura 4.11, no se puede obtener demasiada información relevante, ya que únicamente muestra si por cada número de etiquetas se han encontrado todas las etiquetas esperadas o no (en todas las distancias y potencias). Este ratio debería ser 100 % siempre para cualquier número de etiquetas, pero se puede observar, lo comentado en anteriores análisis: debido a las altas prestaciones de las antenas se han detectado otras etiquetas aparte de las estrictamente establecidas durante

la recogida de alguna muestra. Además, también se puede observar que en algunas muestras en las que se han utilizado 30 etiquetas, hay etiquetas que no han sido detectadas en ninguna de las pruebas (ni a distintas distancias ni a distintas potencias), ya que su ratio de detección medio aparece situado debajo del 100 %.

En cuanto a la segunda gráfica, se puede observar (de media) que cuanto menor es la potencia Tx, menor es el ratio detección. Como ya se ha deducido en anteriores razonamientos, esto se debe a que a menor Tx, menor es la energía liberada al entorno, y por lo tanto, menor energía tendrán las respuestas (si las hay), y por lo tanto, estas no podrán ser captadas por la antena, por lo que el ratio de detección medio disminuye. Por ejemplo, para un número de etiquetas utilizadas de 20, con una Tx de 30dBm el porcentaje se sitúa en 80 %, mientras que con una Tx de 20dBm el porcentaje se sitúa en el 25 %, lo cual supone una disminución del 55 %.

Por último, y en lo relativo a la tercera gráfica, se puede determinar (en general) que cuanto menor es la distancia, mayor es el ratio de detección medio. Esto se debe a que cuanto más cerca se encuentran las etiquetas de la antena, estas pueden enviar las respuestas y ser captadas por la antena con una mayor probabilidad que si estuvieran a distancias mayores. Por ejemplo, para un número de etiquetas de 20, el porcentaje de detección se sitúa en 65 % si se encuentran a una distancia de 3 metros, y de 95 % si se encuentran a una distancia de 1 metro, lo cual supone un incremento en el porcentaje de detección medio del 30 %.

- Conclusiones:

- ◇ A menor potencia de transmisión Tx, menor es el porcentaje de detección. Por ejemplo, para un número de etiquetas utilizado de 20, variar la potencia desde los 30dBm a los 20dBm, supone una disminución del

ratio de detección medio del 55 %.

◊ A distancias menores, son mayores los porcentajes de detección. Por ejemplo, variar la distancia desde los 3 metros a 1 metro, supone un incremento del porcentaje de detección medio del 30 %.

■ Relación entre el tiempo transcurrido entre una lectura y otra de una misma etiqueta y:

● Distancia (general y desglosado además por las potencias utilizadas y el número de etiquetas utilizadas durante las pruebas) - Figura 4.12

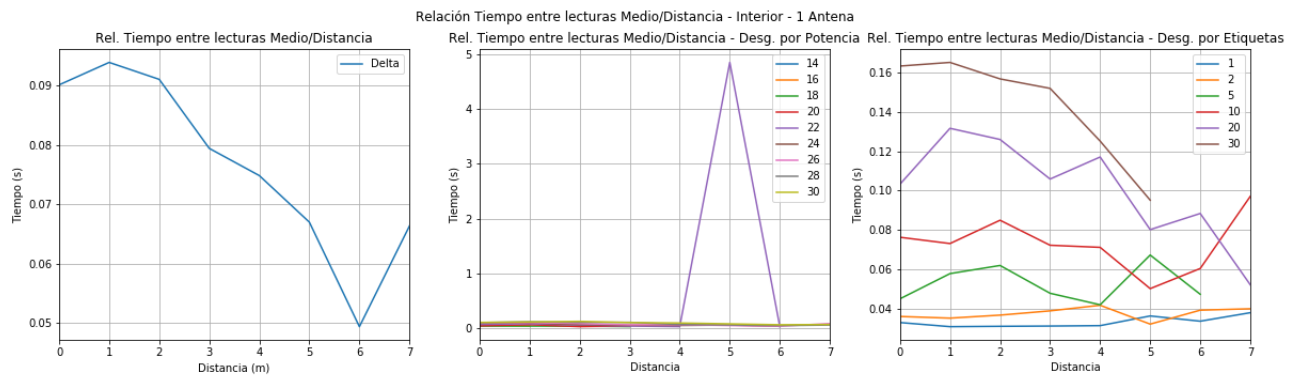


Figura 4.12: Relación Tiempo entre lecturas Medio/Distancia - Interior - 1 Antena

- Tablas: A.18, A.19 y A.20 del Anexo A
- Análisis: analizando la primera gráfica de la figura 4.12, se puede observar que el tiempo medio entre lecturas, disminuye cuanto mayor es la distancia. Se puede deducir que esto es debido a que cuanto menor es la distancia, el ratio de detección de etiquetas aumenta (hay mayor número de etiquetas que responden), y por lo tanto, al haber un mayor número de colisiones, el tiempo medio entre lecturas aumenta.

En cuanto a la segunda gráfica, se puede observar un pico máximo de 5 segundos entre una lectura y otra para una Tx de 22dBm para una distancia de 5 metros, lo cual no hace posible realizar el análisis mediante esta gráfica,

y si se observan los datos de la tabla A.19, se observa que cuanto mayor es la potencia Tx, el tiempo medio entre lecturas también aumenta (esto es debido a que a mayores Tx, mayores son los ratios detección, y por lo tanto, aumenta el número de etiquetas que emiten señales de respuesta causando colisiones, lo cual causa un incremento del tiempo medio entre lecturas).

Por último, al analizar la última de las tres gráficas, se puede observar que el número de etiquetas utilizado se encuentra estrechamente relacionado con el tiempo medio de respuesta entre lecturas, ya que cuanto mayor es el número de etiquetas utilizadas, mayor es el tiempo medio que hay entre cada lectura de cada etiqueta. Esto es debido a lo ya deducido con anterioridad: cuanto más etiquetas hay presentes en el entorno, se producen un mayor número de colisiones, lo cual aumenta el tiempo medio entre lecturas. Por ejemplo, para una distancia de 3 metros, el tiempo medio entre lecturas para 10 etiquetas es de 0.07s, mientras que para 20 es de 0.10s, lo que supone un incremento del tiempo medio entre lecturas del 30 %

o Conclusiones:

- ◇ El tiempo medio entre lecturas disminuye según aumenta la distancia, debido a que cuanto menor es la distancia, mayor es el ratio de etiquetas que se detectan, y por lo tanto, el tiempo medio entre lecturas también aumenta.
- ◇ Cuanto mayor es la potencia Tx, el tiempo medio entre lecturas aumenta, debido a que cuanto mayores potencias de transmisión, mayor es el ratio de detección, y por lo tanto, mayor es el número de etiquetas detectadas, lo que produce un incremento en el tiempo medio entre lecturas (debido a las colisiones).
- ◇ Cuanto mayor es el número de etiquetas, mayor es el tiempo entre lecturas medio. Por ejemplo, variar de 10 a 20 etiquetas en una distancia de 3

metros, supone un incremento del tiempo medio en un 30 %.

- Potencia (general y desglosado por las distancias utilizadas y el número de etiquetas utilizadas durante las pruebas) - Figura 4.13

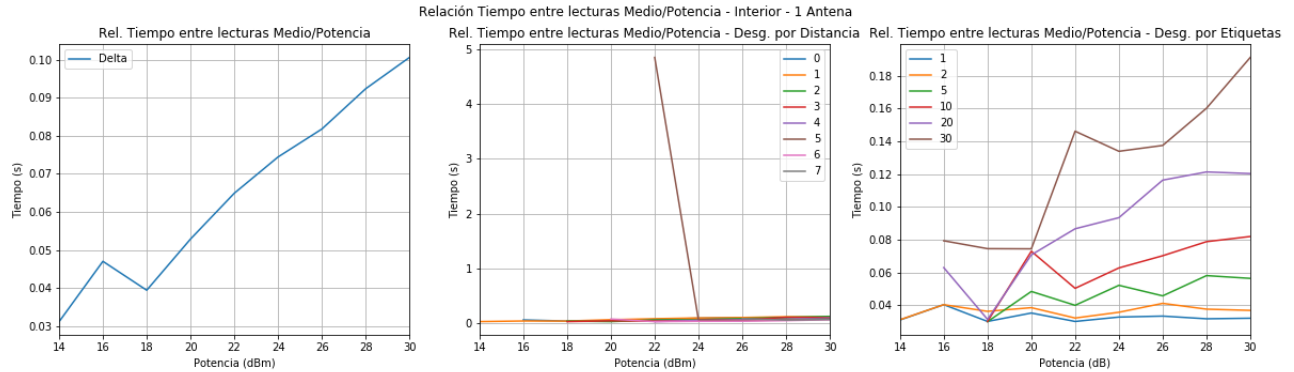


Figura 4.13: Relación Tiempo entre lecturas Medio/Potencia - Interior - 1 Antena

- Tablas: A.21, A.22 y A.23 del Anexo A
- Análisis: al analizar la primera gráfica de la figura 4.13, se puede observar que cuanto mayor es la potencia Tx, mayor es el tiempo medio entre lecturas. Esto es debido a que cuanto más alto es el valor de Tx, se alcanzan mayores distancias y mayor es el ratio de detección de etiquetas que responden, y por lo tanto, el tiempo medio entre lecturas aumenta. Por ejemplo, para una Tx de 18dBm, el tiempo medio es de 0.039s, y para una Tx de 28dBm es de 0.092s, lo cual causa un incremento del 58 % en el tiempo de entre lecturas medio.

En la segunda gráfica, se vuelve a apreciar el pico medio de 5 segundos entre lecturas para 22dBm y una distancia de 5 metros. Si se analiza la tabla A.22, se observa que el tiempo medio entre lecturas disminuye cuanto mayor es la distancia, aunque esto es significativo a partir de los 4 metros de distancia. Por ejemplo, para una Tx de 28dBm, el tiempo medio entre lecturas es bastante similar en los intervalos [0m-3m] y [4m-7m], pero distintos entre ellos. Como se ha deducido anteriormente, esto es debido a que a mayores

distancias, es menor el número de etiquetas que responden, y por lo tanto, se producen menos colisiones, por lo que el tiempo medio entre lecturas disminuye.

En la última gráfica, se puede observar de nuevo lo ya comentado: cuanto mayor es el número de etiquetas, mayor es el tiempo medio entre lecturas, debido a que se producen más colisiones, que aumentan el tiempo medio entre lecturas.

○ Conclusiones:

- ◇ Cuando mayor es la Tx, mayor es el tiempo medio entre lecturas. Si se varía la Tx de entre 18dBm y 28dBm, el incremento medio del tiempo es del 58 %.
- ◇ El tiempo medio entre lecturas disminuye cuanto mayor es la distancia, (aunque con los datos disponibles, únicamente es significativo a partir de los 4 metros).
- ◇ A mayor número de etiquetas, mayor tiempo medio entre lecturas.

● Número de etiquetas utilizadas (general y desglosado por las distancias y potencias utilizadas) - Figura 4.14

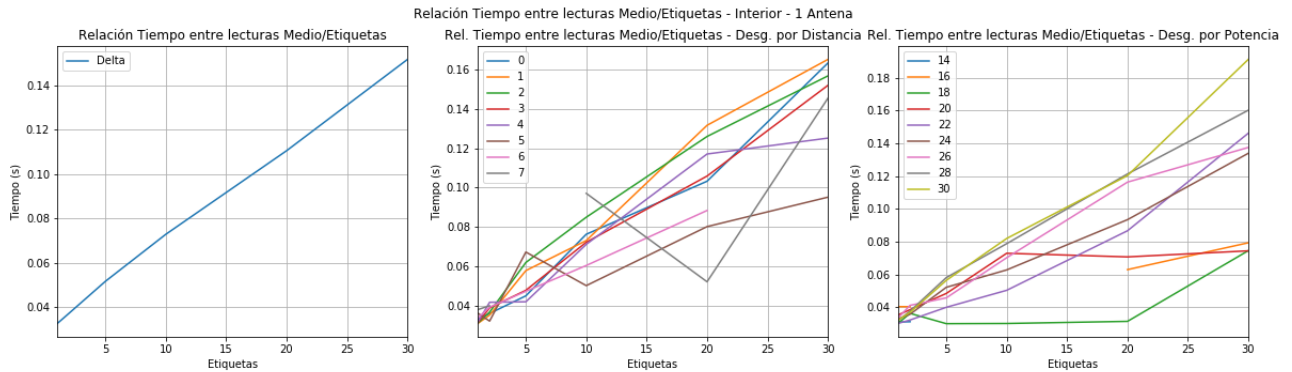


Figura 4.14: Relación Tiempo entre lecturas Medio/Etiquetas - Interior - 1 Antena

○ Tablas: A.24, A.25 y A.26 del Anexo A

- Análisis: al analizar la primera de las tres gráficas de la figura 4.14, se puede observar de nuevo lo previamente deducido: el número de etiquetas utilizado y el tiempo medio entre lecturas está estrechamente relacionado de forma lineal, ya que cuanto mayor es el número de etiquetas utilizado, más se incrementa el tiempo medio entre lecturas. Por ejemplo, para 5 etiquetas, el tiempo medio entre lecturas se sitúa en los 0.05s, mientras que para 20 etiquetas, se sitúa en los 0.11s, lo cual supone un aumento del tiempo medio entre lecturas de 55 %.

En cuanto a la segunda gráfica, se puede observar lo ya deducido también con anterioridad, es decir, cuanto menor es la distancia, mayor es el tiempo medio (“en general”) entre lecturas. Esto se debe a que cuanto menor es la distancia, mayor es el ratio/porcentaje de detección de etiquetas, lo cual como ya se ha razonado anteriormente, causa un incremento del tiempo medio entre lecturas.

En cuanto a la última gráfica, se puede concluir también lo ya explicado en análisis previos: cuanto mayor es la potencia Tx, mayor es el tiempo medio entre lecturas (para número de etiquetas utilizado). Esto se debe a que cuanto mayor es la potencia de transmisión, el ratio de detección de etiquetas y la distancia a la que se detectan se incrementan, por lo que tiene sentido que cuanto mayor sea Tx, mayor sea el tiempo medio entre lecturas.

- Conclusiones:
 - ◇ El número de etiquetas utilizado y el tiempo medio entre lecturas está estrechamente relacionado, y cuanto mayor es el número de etiquetas, mayor es el tiempo medio entre lecturas. Al comparar el tiempo medio entre lecturas con 5 etiquetas y 20 etiquetas, se observa un incremento del tiempo medio del 55 %.
 - ◇ Cuanto menor es la distancia, el tiempo medio entre lecturas se incremen-

ta. Esto se debe a que cuanto menor es la distancia a la antena, mayor es el ratio/porcentaje de detección medio, lo cual causa un incremento del tiempo medio entre lecturas.

- ◇ Cuanto mayor es la potencia Tx, mayor es el tiempo medio entre lecturas. Esto es debido a que cuanto mayor es la potencia de transmisión, el ratio de detección de etiquetas y la distancia a las que se detectan son mayores, lo cual causa que para potencias mayores, se tengan tiempos medios entre lecturas mayores.

A continuación, se detallan de forma resumida las principales conclusiones obtenidas tras haber analizado las muestras recogidas (desde diversas perspectivas) con una antena en un espacio **interior** en el que las etiquetas se encuentran **fijas** a distintas distancias:

- En cuanto al RSSI medio:
 - Disminuye cuanto mayor es la distancia.
 - Disminuye de forma lineal cuanto mayor es la potencia de transmisión Tx usada durante el muestreo.
 - Disminuye cuanto mayor es el número de etiquetas utilizadas durante el muestreo.
- En cuanto al ratio de detección medio (del total de etiquetas utilizadas durante la fase de muestreo):
 - Disminuye cuanto mayor es la distancia (comparando el ratio entre 1 metro y 7 metros, el ratio disminuye un 60 %).
 - Aumenta cuanto mayor es la potencia de transmisión (variando Tx de 20dBm a 28dBm, se obtiene una mejora del 34 % en el ratio de detección).
- En cuanto al tiempo medio transcurrido entre lecturas:

- Disminuye cuanto mayor es la distancia.
- Empeora cuanto mayor es la potencia de transmisión Tx, (variando Tx de 18dBm a 28dBm, el empeoramiento es del 58 %).
- Aumenta de forma lineal cuanto mayor es el número de etiquetas (variando de 5 a 20 etiquetas, el empeoramiento del tiempo medio entre lecturas es del 55 %).

A partir de los siguientes puntos, únicamente se realizarán comparaciones con los datos de medias totales (no desglosados), ya que el análisis sería bastante similar al ya realizado en este punto.

Experimentación con dos antenas

A continuación, se detalla un análisis comparativo entre la utilización de una y dos antenas en un entorno interior en el que las etiquetas se encuentran fijas a distintas distancias, utilizando para ello, los resultados totales medios obtenidos con una antena en el apartado 4.2.2:

- RSSI medio de una y dos antenas, por distancias, por potencias y por número de etiquetas utilizadas - Figura 4.15:

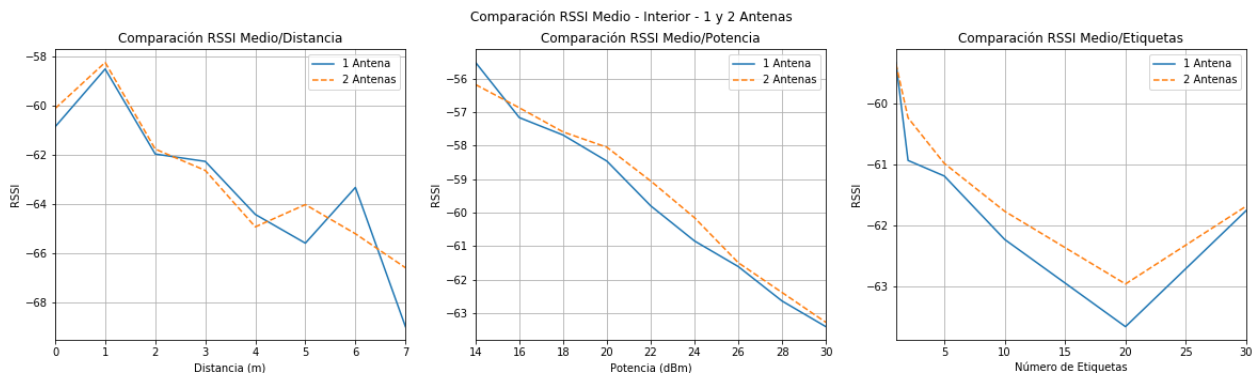


Figura 4.15: Comparación RSSI medio - Interior - 1 y 2 Antenas

- Datos: Tablas [A.1](#), [A.27](#), [A.4](#), [A.30](#), [A.7](#) y [A.33](#) del Anexo [A](#)
- Análisis: al analizar la primera gráfica de la figura [4.15](#), se puede observar que los valores RSSI medios (respecto a la distancia) entre utilizar una antena o dos, son bastante similares (excepto para los 7 metros, distancia a la cual para 1 antena se han obtenido -69 RSSI, y para 2 antenas se han obtenido -66.5 RSSI, lo cual supone una mejoría de 4 % en el RSSI medio).

En la segunda gráfica, se puede observar que los valores de los RSSI medios (respecto a la potencia) también son bastante similares entre utilizar 1 ó 2 antenas. Por último, en la tercera gráfica, se observa una ligera mejoría en el valor del RSSI medio al utilizar dos antenas respecto al utilizar una única antena. Por ejemplo, para un número de 10 etiquetas el RSSI medio al utilizar una antena es de -62.23 RSSI, mientras que al utilizar dos antenas se obtienen -61.76 RSSI, lo que supone alrededor de un 1 % de mejoría).

- Conclusiones:
 - El RSSI medio varía “muy ligeramente” al utilizar una única antena o dos, ya que se obtienen valores bastantes similares, tanto por distancia, por potencia y por número de etiquetas utilizadas.
- Ratio de detección de etiquetas medio de una y dos antenas, por distancias, por potencias y por número de etiquetas utilizadas - Figura [4.16](#):
 - Datos: Tablas [A.10](#), [A.36](#), [A.13](#), [A.39](#), [A.15](#) y [A.41](#) del Anexo [A](#)
 - Análisis: si se analiza la primera gráfica de la figura [4.16](#), se puede observar un importante incremento en el ratio de detección medio de etiquetas en la mayoría de las distancias al utilizar dos antenas (por ejemplo, para una distancia de 4 metros, con una antena se ha obtenido 71 % y para dos, se ha obtenido 84 %, lo que supone una mejora del 16 %).

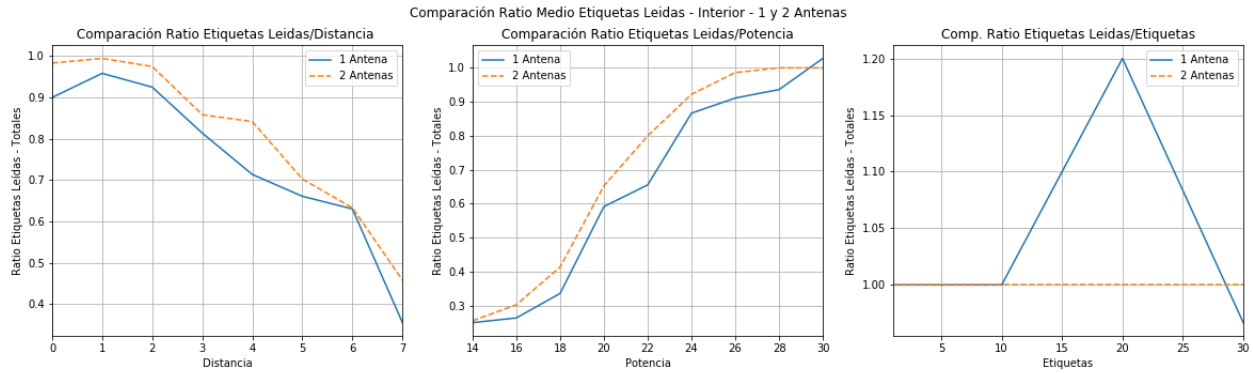


Figura 4.16: Comparación Ratio medio Etiquetas Leídas - Interior - 1 y 2 Antenas

En cuanto a la segunda gráfica, también se puede apreciar un ligero incremento en el ratio de detección medio en cuanto a las potencias Tx utilizadas al utilizar dos antenas. Por ejemplo, para una potencia de 28dBm, con una antena se ha obtenido un 93 %, y con dos, se ha obtenido 100 %, lo que supone un incremento del 7 %.

De la tercera gráfica, como ya se ha explicado en anteriores análisis [4.2.2](#), no se puede extraer ninguna información relevante, excepto que cuando se tomaron las muestras utilizando 1 antena en un espacio interior y por las altas prestaciones de la antena se detectaron más etiquetas de las establecidas, y que como se puede observar, para 2 antenas no se ha producido (en este caso se han detectado todas las etiquetas para las distintas potencias/distancias/etiquetas ya que el ratio es siempre 1 (100 %)).

- Conclusiones:
 - Se observa un importante incremento en el ratio de detección medio en cuanto a las distancias al utilizar dos antenas. Por ejemplo, para una distancia de 4 metros, el ratio mejora un 16 % al usar dos antenas.
 - También se puede observar un ligero incremento en el ratio de detección medio en cuanto a las potencias Tx al utilizar dos antenas. Por ejemplo, se ha observado un incremento del 7 % para un Tx de 28dBm al utilizar dos

antenas en vez de únicamente una.

- Tiempo medio entre lecturas de etiquetas de una y dos antenas, por distancias, por potencias y por número de etiquetas utilizadas - Figura 4.17:

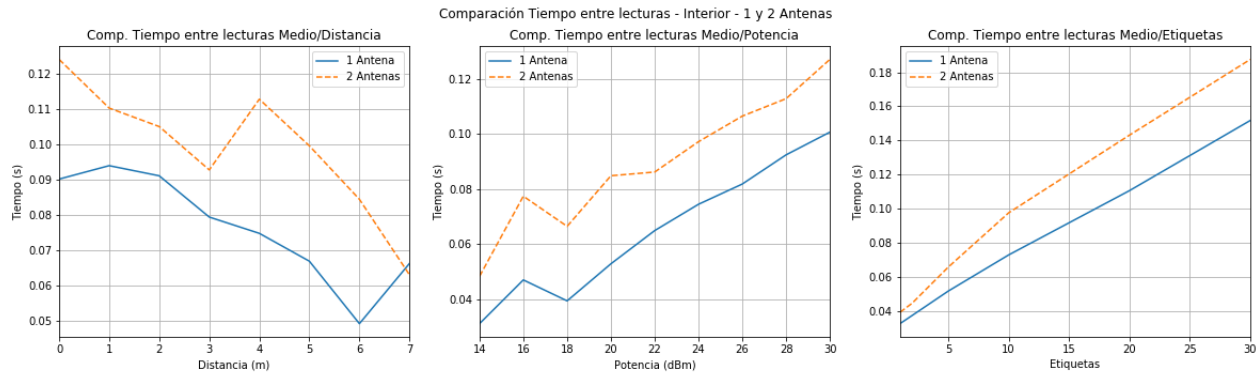


Figura 4.17: Comparación Tiempo medio entre lecturas de Etiquetas - Interior - 1 y 2 Antenas

- Datos: Tablas [A.18](#), [A.44](#), [A.21](#), [A.47](#), [A.24](#) y [A.50](#) del Anexo A
- Análisis: si se observa la primera gráfica de la figura 4.17, se puede visualizar que al utilizar dos antenas, el tiempo medio entre lecturas empeora para todas las distancias (excepto para una distancia de 7 metros). Esto es debido al solapamiento de los campos de ambas antenas. Por ejemplo, para una distancia de 6 metros, se han obtenido unos tiempos de 0.049s y de 0.084s (una y dos antenas respectivamente), lo que supone una disminución del 48% del ratio de tiempo medio entre lecturas.

En cuanto a la segunda gráfica, se puede observar que, respecto a las potencias Tx utilizadas, al utilizar dos antenas el tiempo medio entre respuesta empeora. Por ejemplo, para una potencia de 24 dBm, los tiempos medios entre lecturas son de 0.07s y de 0.097s (una y dos antenas respectivamente), lo que supone una disminución del 28%.

Por último, en la tercera gráfica se observa, que, respecto al número de etique-

tas utilizadas, al utilizar dos antenas, el tiempo medio entre lecturas aumenta/empeora. Por ejemplo, para 20 etiquetas, se han obtenidos unos tiempos medios entre lecturas de 0.11s y 0.14s (una y dos antenas respectivamente), lo que supone un empeoramiento del 22 % en el tiempo medio entre lecturas.

- Conclusiones:
 - En los tres casos (por distancias, potencias y etiquetas utilizadas) se observa un incremento-/empeoramiento en el tiempo medio entre lecturas, siendo este incremento del 48 % para una distancia de 6 metros, de 28 % para una potencia Tx de 24 dBm y de un 22 % para un número de 20 etiquetas utilizadas.

Conclusiones

Tras haber comparado las medias de las distintas variables analizadas, entre utilizar una y dos antenas, estas son las principales conclusiones:

- En cuanto al RSSI medio: no sufre demasiada variación respecto de cuando se utiliza una o dos antenas.
- En cuanto al ratio de detección medio: al usar dos antenas mejora significativamente, tanto por distancias como por potencias. (por ejemplo, a una distancia de 6 metros, el ratio se incrementa un 16 % respecto al utilizar una única antena, y a una potencia Tx de 28dBm se incrementa un 7 %).
- En cuanto al tiempo medio entre lecturas: al usar 2 antenas simultáneamente, este empeora significativamente, tanto por distancia (para una distancia de 6 metros, empeora un 48 %), como por potencia (para un Tx de 24dBm, empeora un 28 %), como por número de etiquetas (para 20 etiquetas, empeora un 22 %).

4.2.3. Exteriores - experimentación y análisis de resultados

Experimentación con una y dos antenas

A continuación se detalla el análisis comparativo respecto a los resultados medios totales obtenidos (usando una y dos antenas) en interiores y exteriores (para cada variable analizada).

- RSSI medio en exterior e interior de una y dos antenas, por distancias, por potencias y por número de etiquetas utilizadas - Figura 4.18:

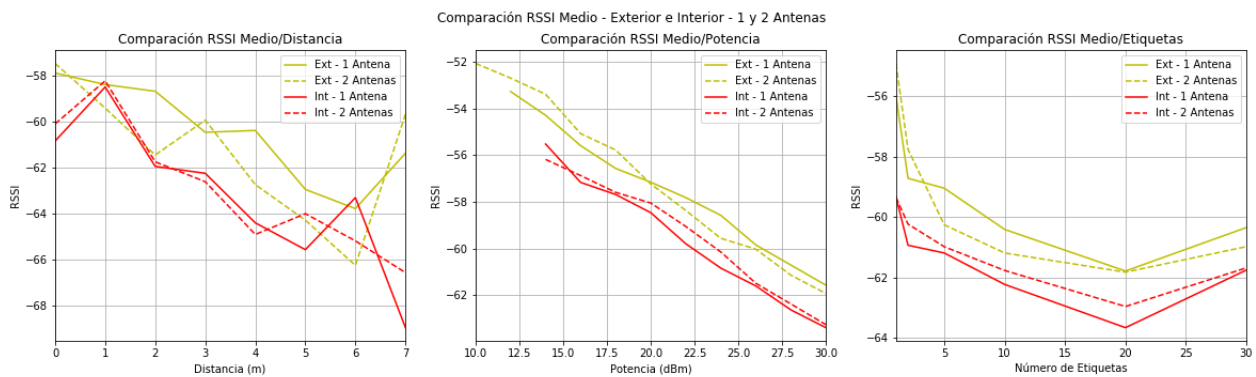


Figura 4.18: Comparación RSSI medio - Exterior e Interior - 1 y 2 Antenas

- Tablas: [A.53](#), [A.79](#), [A.1](#), [A.27](#), [A.56](#), [A.82](#), [A.4](#), [A.30](#), [A.59](#), [A.85](#), [A.7](#) y [A.33](#) del Anexo [A](#).
- Análisis: Si se analiza la figura 4.18, se puede observar que, en cuanto a utilizar 1 ó 2 antenas en el exterior o en el interior, el RSSI medio mejora (“generalmente”) en el exterior tanto por distancia, como por potencia, como por número de etiquetas utilizadas. Por ejemplo, para una potencia de 30dBm, 1 antena y espacio interior el RSSI medio es de -63.39, mientras que en el exterior, es de -61.57, lo cual supone una mejora del 3%, y cuando se utilizan dos antenas, en el interior, es de -63.26, mientras que en el exterior, es de -61.92, lo que supone una mejora

del 3%. Esto es debido al cambio en cuanto a la forma o dimensiones del espacio exterior (más estrecho), respecto al interior (más amplio).

- Conclusiones: el RSSI medio mejora cuando la/s antena/s se encuentran situadas en el exterior respecto al interior.
- Ratio de detección de etiquetas Medio en exterior e interior de una y dos antenas, por distancias, por potencias, y por número de etiquetas utilizadas 4.19:

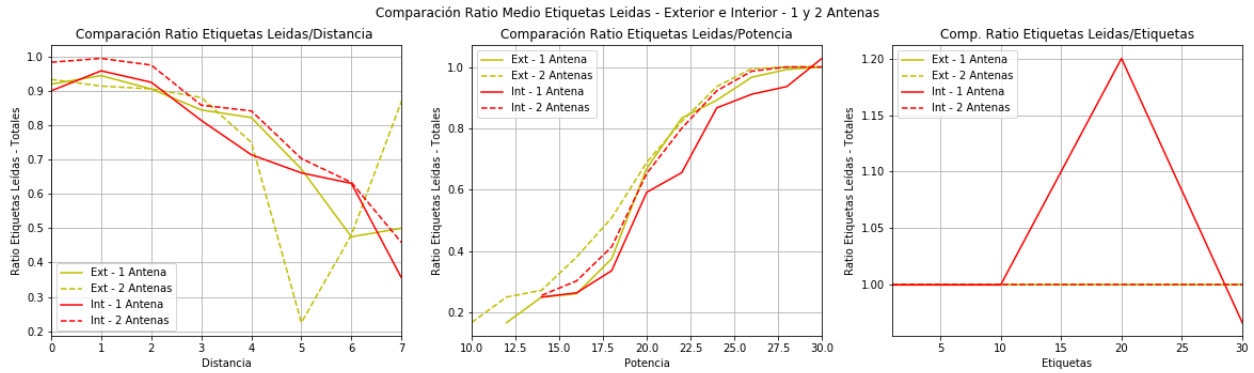


Figura 4.19: Comparación Ratio medio Etiquetas Leídas - Exterior e Interior - 1 y 2 Antenas

- Tablas: A.62, A.88, A.10, A.36, A.65, A.91, A.13, A.39, A.67, A.93, A.15 y A.41 del Anexo A.
- Análisis: si se analiza la figura A.62, se observa que el ratio medio de detección es bastante similar en el exterior y en el interior tanto por distancias, como por potencias (aunque en este último, se nota una ligera mejora en el exterior). Por distancia, se pueden observar cómo se entrelazan constantemente los valores, y se puede observa un valor mínimo para una distancia de 5 metros, y un valor máximo a los 7 metros cuando se utilizan 2 antenas en el exterior).
- Conclusiones: el ratio medio de detección al utilizar una y dos antenas es muy similar, tanto en interior como en exterior como en número de antenas utilizadas.
- Tiempo medio entre lecturas de etiquetas en exterior e interior de una y dos antenas, por distancias, por potencias y por número de etiquetas utilizadas - Figura 4.20:

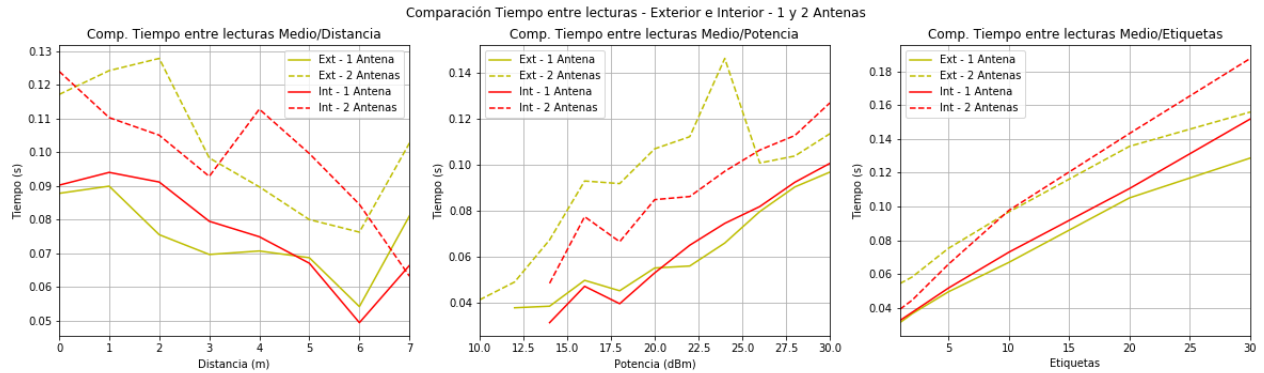


Figura 4.20: Comparación Tiempo medio entre lecturas de Etiquetas - Exterior e Interior - 1 y 2 Antenas

- Tablas: [A.70](#), [A.96](#), [A.18](#), [A.44](#), [A.73](#), [A.99](#), [A.21](#), [A.47](#), [A.76](#), [A.102](#), [A.24](#) y [A.50](#) del Anexo [A](#).
- Análisis: al observar las gráficas de la figura [4.20](#) se puede observar que el tiempo medio entre lecturas es, en general, bastante similar si se comparan el número de antenas utilizadas y el entorno en el que se encuentran (exterior e interior), aunque si se analiza la segunda gráfica (por potencias), se observa que para 2 antenas, el tiempo medio entre lecturas es mayor en el exterior que en el interior.
- Conclusiones: el tiempo medio entre lecturas al utilizar una y dos antenas es muy similar, tanto en interior como en exterior como en número de antenas utilizadas.

Conclusiones

Tras haber comparado las medias de las distintas variables analizadas, entre utilizar una y dos antenas en el exterior y en el interior, la conclusión principal es que no existe una notable diferencia entre utilizar las antenas en un ambiente más “expuesto” a otras señales que pudieran interferir en el reconocimiento/lectura de las etiquetas, y en utilizarlas en un ambiente más protegido frente a posibles adversidades.

4.3. Etiquetas móviles - experimentación y análisis

En este apartado se detallan las pruebas, análisis y resultados obtenidos al realizar las pruebas en un entorno más “real” de una tienda o centro logístico, es decir, en un espacio interior en el que las etiquetas están en **movimiento** (se desplazan).

4.3.1. Metodología de las pruebas

A diferencia de las pruebas realizadas en el apartado anterior (etiquetas fijas e inmóviles a distintas distancias), las pruebas definidas en este apartado son más sencillas, ya que el objetivo principal de las mismas es analizar el ratio de detección medio de etiquetas leídas en un entorno más cercano al caso de uso que existiría en una tienda o centro logístico, en el cual, las etiquetas se estarían desplazando en el momento de la detección (**móviles**).

Al igual que en las pruebas realizadas para las etiquetas fijas, también se ha definido (de forma previa a la realización de las pruebas) un procedimiento:

1. Se etiquetan 30 productos con la etiqueta RFID situada en el exterior del producto.

Tal y como se muestra en la figura 4.21.



Figura 4.21: Productos etiquetados con RFID

2. Se comprueba que, previamente a la realización de las pruebas, se detecten todos los

productos etiquetados para evitar cualquier fallo o error que pueda impactar en los resultados. Ha de notarse que tras realizar distintas pruebas previas, se decide evitar etiquetar productos que tengan metales (latas, bricks, etc), ya que estos anulan por completo la respuesta de la etiqueta e impactaría a los resultados de las pruebas (ya que no se detectarían ni en el mejor de los casos).

3. Se predispone el entorno de forma óptima (figura 4.22) teniendo en cuenta los datos y resultados más favorables del ratio de detección de etiquetas obtenidos en el apartado anterior para las etiquetas fijas: potencia Tx de 30dBm a una distancia de 2-2.5m (lo óptimo sería utilizar una distancia entre 1-2m, pero se ha decidido seleccionar esta distancia para simular un entorno en el que es probable que la antenna se posicione a distancias mayores de 1-2 metros de las etiquetas).

La distancia por la que el sujeto se desplaza con los productos etiquetados es del entorno de 3 metros (simulando la salida de una tienda).



Figura 4.22: Entorno en pruebas de etiquetas móviles

4. De forma aleatoria, un sujeto selecciona productos y los introduce a una bolsa actual de supermercado (de material de rafia), tal y como la que se puede observar en el figura 4.23. El resto de productos no seleccionados se aíslan en el interior de un armario de metal, con el fin de que no interfieran en las distintas mediciones y en los posibles resultados.



Figura 4.23: Productos seleccionados embolsados

5. Se realizan distintas mediciones del sujeto simulando la salida de una tienda a una velocidad promedio de 4-5km/h [23], durante un tiempo promedio de 4-5s, y se toman las distintas muestras variando el número de antenas utilizadas (1 o 2) y el número de productos/etiquetas que el sujeto ha seleccionado (1, 2, 5, 10, 20 o 30 productos), generando para cada muestra el fichero “.csv” con la siguiente nomenclatura:

```
INT_<N.antenas>A_<N.etiquetas>T_<Distancia>M_Fecha.csv
```

6. Por último, y al igual que en las pruebas anteriores, también se han utilizado herramientas de análisis de datos y herramientas gráficas de Python para limpiar las muestras de posibles errores/inconsistencias, procesar la información y generar las gráficas que permiten visualizar y comprender la información de una manera más sencilla.

4.3.2. Interiores - experimentación y análisis de resultados

En este apartado se detallan los resultados, deducciones y conclusiones tras haber recopilado y procesado las distintas muestras en el entorno con las etiquetas en movimiento (“móviles”).

Dado que el objetivo únicamente es analizar y comparar el ratio de detección de etiquetas

respecto al utilizar una y dos antenas, la única gráfica que relevante que cumple este objetivo, es la que se puede observar en la figura 4.24:

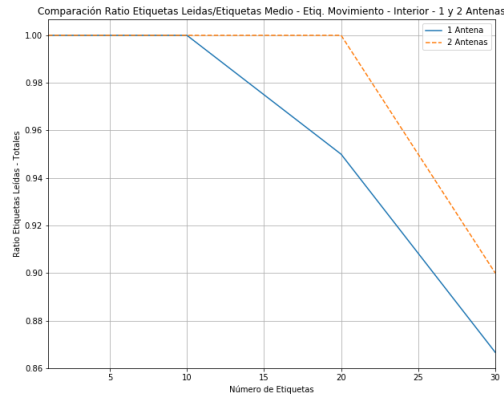


Figura 4.24: Comparación Ratio Etiquetas Leídas - Mov. - Interior - 1 y 2 Antenas

- Tablas: [A.105](#), [A.106](#) del Anexo [A](#).
- Análisis: si se analiza la figura 4.24, se puede observar que, tanto al utilizar una como dos antenas, el ratio de detección de etiquetas es del 100 % utilizando hasta 10 etiquetas/productos. Para un número de productos superior a 10, el ratio de detección es ligeramente superior cuando se utilizan dos antenas. Por ejemplo, para el máximo número de etiquetas/productos utilizados (30), se observa que con una antena el ratio de detección es del 86.6 % (no se detectan 4 productos/etiquetas) , y con dos antenas es del 90 % (no se detectan 3 productos/etiquetas), lo cual supone una ligera mejora del 3.4 %.
- Conclusiones: el ratio de detección mejora ligeramente cuando se utilizan dos antenas respecto a una sola antena a partir de utilizar más de 10 productos/etiquetas. Por ejemplo, para 30 etiquetas/productos, el porcentaje mejora únicamente un 3,4 %.

Conclusiones

Tras haber analizado la gráfica de la figura 4.24 se concluye que el ratio de detección mejora ligeramente cuando se utilizan dos antenas respecto a cuando se utiliza una, para un número de productos/etiquetas superior a 10 productos/etiquetas. Por ejemplo, para 30 etiquetas/productos, el porcentaje mejora únicamente un 3,4%.

4.4. Conclusiones generales de la experimentación

Tras haber profundizado en los análisis de los resultados obtenidos, a continuación se reflejan las principales conclusiones obtenidas a partir de los mismos:

- Al analizar los resultados desglosados por distancias, potencias y número de etiquetas, y utilizando una antena en el que las etiquetas se encuentran **fijas** en un espacio interior, se concluye que:
 - El RSSI medio disminuye cuanto mayor es la distancia (disminuyendo la calidad del enlace), cuanto mayor es la potencia de transmisión Tx (por el aumento del ratio de detección y, por lo tanto, de las colisiones producidas) y cuanto mayor es el número de etiquetas utilizadas (debido al aumento del número de colisiones que se producen).
 - El ratio de detección medio disminuye (empeora), cuanto mayor es la distancia, y aumenta (mejora) cuanto mayor es la potencia de transmisión Tx utilizada.
 - El tiempo medio entre lecturas disminuye (mejora) cuanto mayor es la distancia a la que se encuentran las etiquetas (debido a que hay un menor ratio de detección y, por lo tanto, menos colisiones), aumenta (empeora) cuanto mayor es la potencia de transmisión Tx utilizada (por el aumento del ratio de detección y, por lo tanto, del número de colisiones), y por último, aumenta (empeora) cuanto mayor

es el número de etiquetas utilizadas (cuantas más etiquetas hay, más colisiones se producen empeorando el tiempo medio entre lecturas).

- Al comparar los resultados utilizando una o dos antenas en un entorno en el que las etiquetas se encuentran **fijas** en un espacio interior, se concluye que: el RSSI medio es muy similar en ambos casos, el ratio de detección medio mejora al utilizar dos antenas y que el tiempo medio entre lecturas empeora significativamente al utilizar dos antenas respecto al usar una antena.
- Al comparar las medias totales de las variables analizadas de las muestras tomadas utilizando etiquetas **fijas**, tanto en exterior e interior, utilizando 1 o 2 antenas, se obtienen resultados bastante similares, por lo que no hay una “notable” diferencia entre utilizar las antenas en un espacio interior o en uno exterior.
- El ratio de detección de etiquetas mejora ligeramente, en las muestras tomadas utilizando etiquetas que se estén desplazando (**móviles**), cuando se utilizan dos antenas (respecto al utilizar una antena) en un espacio interior.

Por último, otras conclusiones extraídas como fruto de la observación y experimentación de la realización de las pruebas (no se han concluido con datos, sino que se han extraído “empíricamente” de la práctica) y que se ha considerado relevante enunciar en el presente documento para futuros análisis o estudios relacionados con RFID, son los siguientes:

- Las etiquetas no se detectan cuando se encuentran situadas cerca de materiales metálicos (el resto de materiales que se han utilizado para las pruebas, como por ejemplo: plásticos, líquidos, papeles/cartón, tejidos de fibras, etc, sí que se detectan respuestas de las etiquetas, por lo menos, utilizando una potencia de transmisión elevada y una distancia del entorno a los 2 metros).
- La altura y posicionamiento de las antenas parece tener influencia en distintas varia-

bles, como por ejemplo, la distancia a la que se detecta una etiqueta (se ha observado que cuanto más elevada se encuentra la antena, mayor es la distancia a la que se detectan (se ha observado que si se emplaza la antena en un espacio exterior y se sitúa a una altura del doble de la utilizada para estas pruebas: 2 metros, esta detecta sin problemas una etiqueta a una distancia de 10 metros sin obstáculos intermedios).

Capítulo 5

Implementación del sistema control logístico - App RFIDCenter

5.1. Proceso de diseño

En este apartado se detallan los distintos aspectos relativos al diseño utilizado para implementar la aplicación móvil desarrollada para Android (RFIDCenter), como resultado de aplicar de forma práctica y visual la teoría y conocimiento adquiridos con la realización del presente trabajo.

El código desarrollado para la implementación de la aplicación móvil RFIDCenter se encuentra disponible en el siguiente enlace de GitHub:

[Enlace al Proyecto de GitHub](#)

5.1.1. Escenario

En una etapa inicial del diseño de la aplicación RFIDCenter, se decidió redactar un escenario y unos casos de uso que la aplicación implementaría con el fin de obtener un resultado gráfico y práctico que refleja la utilidad de la tecnología RFID en centros logísticos, tiendas o grandes supermercados.

Así pues, el escenario de utilización de la App RFIDCenter es el siguiente:

“Juan, padre con poco tiempo disponible y cliente habitual de la conocida cadena de grandes supermercados ‘CorreShop’, acude como cada sábado para realizar su gran compra semanal para toda su familia, y siempre elige este supermercado ya que tiene un sistema que le permite adquirir directamente todos los productos sin tener que sacarlos uno a uno de su carro de la compra, lo cual le ahorra bastante tiempo y esfuerzo que puede reinvertir para otras cosas.

Así pues, Juan entra al supermercado y coge todos los productos que considera necesarios (y algunos caprichos) y cuando va a realizar la adquisición, se conecta con el móvil al WiFi del establecimiento mediante código QR para poder utilizar la aplicación móvil RFIDCenter, mediante la cual, le permite pasar su carrito de la compra entero las cajas ‘ultrarrápidas’ y realizar así la adquisición de todos los productos de un golpe.

Además, a Juan le gusta consultar de forma habitual el histórico de lo que se ha gastado y de lo que ha comprado con distintos objetivos: comparar precios entre fechas, gasto realizado en cada compra, conocer más o menos si le hace falta comprar un producto o no, etc.

Por último, la existencia de este sistema le permite a Rocío (operaria del almacén de este supermercado), realizar el inventario y etiquetado masivo de los nuevos productos que el supermercado adquiere de forma habitual y continuada, lo cual, acaba beneficiando económicamente y competitivamente a ‘CorreShop’ en el mercado.”

5.1.2. Diagrama de casos de uso y requisitos

Una vez definido y contextualizado el escenario objetivo de la aplicación móvil RFIDCenter, se establecieron los casos de uso (figura 5.1) y se documentaron los requisitos que la aplicación implementaría (tablas 5.1, 5.2, 5.3).

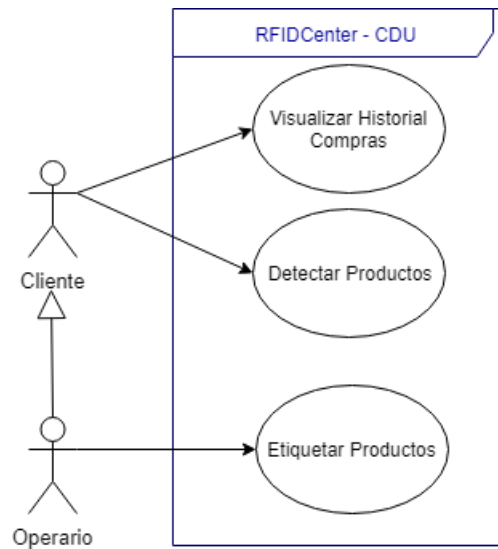


Figura 5.1: Diagrama de casos de uso RFIDCenter

Como se puede observar en la figura 5.1, a raíz del escenario definido anteriormente, se detallaron tres casos de uso distintos (diferenciados entre el tipo de usuario que utilice la aplicación):

- **Cliente:** es el tipo de usuario que utiliza la aplicación con el principal objetivo de realizar la adquisición “express” de los productos que tiene en su carrito. De esta forma, este tipo de usuario o actor puede realizar los siguientes casos de uso:
 - Visualizar Historial Compras (Requisito 5.1).
 - Detectar Productos (Requisito 5.2).

- **Operario:** este tipo de usuario puede hacer lo mismo que un Cliente, pero además, puede realizar el etiquetado o inventariado de nuevos productos (un usuario de tipo Cliente no tiene habilitada esta funcionalidad), por lo que de forma adicional a los Clientes, puede realizar los siguientes casos de uso:
 - Etiquetar Productos (Requisito 5.3).

Caso de uso	Visualizar Historial de Compras
Identificador	REQ1
Objetivo de contexto	Listar el historial con los detalles de las compras realizadas por el cliente.
Actor principal	Cliente.
Actores secundarios	-
Entrada	Identificador del cliente (número de teléfono SIM).
Precondiciones	El cliente quiere visualizar un listado con el detalle del histórico de las compras que ha realizado.
Postcondiciones	-
Éxito	La aplicación muestra el listado de compras realizadas por el cliente (ordenadas de más recientes a más antiguas).
Fallo	La aplicación no muestra ningún listado de compras y se muestra el mensaje de error correspondiente.
Flujo Principal	<ol style="list-style-type: none"> 1. El cliente se conecta a la red WiFi del establecimiento. 2. Automáticamente el sistema asigna el número móvil de la SIM de su smartphone como identificador de usuario (si no lo estaba ya previamente). 3. Selecciona la pestaña “Historial”. 4. El usuario visualiza un histórico de las compras realizadas, pudiendo seleccionar una para ver el detalle de la misma (productos adquiridos, precios, y precio total de la compra). En caso de error, se muestra un mensaje informativo y no se muestra ninguna lista (S4).
Flujo Alternativo	<ul style="list-style-type: none"> ▪ S4: la aplicación muestra el mensaje de error y no se muestra ningún listado. El cliente tendría que volver al paso 3 nuevamente.

Cuadro 5.1: REQ1. Visualizar Historial de Compras

Caso de uso	Detectar Productos
Identificador	REQ2
Objetivo de contexto	Detectar los productos que el cliente se va a llevar del establecimiento.
Actor principal	Cliente.
Actores secundarios	-
Entrada	Identificadores de las etiquetas RFID de los productos (EPC).
Precondiciones	El cliente ha tomado una serie de productos del establecimiento, y quiere comprarlos, añadiéndose así a su histórico de compras realizadas.
Postcondiciones	-
Éxito	La aplicación muestra el listado de productos y cantidad que se ha detectado que tiene el cliente, se muestra el total de la compra.
Fallo	La aplicación no consigue detectar ningún producto y se muestra el mensaje de error correspondiente.
Flujo Principal	<ol style="list-style-type: none"> 1. El cliente se conecta a la red WiFi del establecimiento y abre la aplicación RFIDCenter. 2. Automáticamente el sistema asigna el número móvil de la SIM de su smartphone como identificador de usuario (si no lo estaba ya previamente). 3. El cliente toma una serie de productos del establecimiento y se dirige hacia la salida. 4. Selecciona la pestaña “ScanAndGo”. 5. La aplicación muestra el listado de productos y cantidades que ha detectado que lleva el usuario y se muestra el precio total de la compra (añadiéndose al correspondiente histórico). En caso de error, se muestra un mensaje de informativo y no se muestra ninguna lista (S5).
Flujo Alternativo	<ul style="list-style-type: none"> ■ S5: la aplicación muestra el mensaje de error y no se muestra ningún listado. El cliente tendría que volver al paso 4 nuevamente.

Cuadro 5.2: REQ2. Detectar Productos

Caso de uso	Etiquetar Productos
Identificador	REQ3
Objetivo de contexto	Etiquetar e inventariar productos con RFID.
Actor principal	Operario.
Actores secundarios	-
Entrada	Producto (EPC) con el cual se quiere etiquetar los nuevos productos sin inventariar.
Precondiciones	El establecimiento ha recibido un nuevo pedido de productos que tiene que inventariar mediante RFID para que los clientes puedan adquirirlos correctamente.
Postcondiciones	-
Éxito	La aplicación muestra un mensaje informativo del porcentaje de productos que se han etiquetados correctamente.
Fallo	La aplicación no consigue detectar ningún producto y se muestra el mensaje de error correspondiente.
Flujo Principal	<ol style="list-style-type: none"> 1. El operario se conecta a la red WiFi del establecimiento y abre la aplicación RFIDCenter. 2. Previamente, el sistema tiene asignado el teléfono (con el perfil adecuado) del operario en el sistema para que pueda utilizar está funcionalidad. 3. El operario selecciona la pestaña “Tagger”, en la cual se le muestra un listado de productos predefinidos en el sistema. 4. Selecciona el producto predefinido del sistema con el que va a etiquetar los productos del nuevo pedido sin inventariar. 5. La aplicación realiza el proceso de etiquetado, y al finalizar, muestra un mensaje informativo con el porcentaje de productos que han sido etiquetados correctamente. En caso de error, se muestra un mensaje de informativo (S5).
Flujo Alternativo	<ul style="list-style-type: none"> ▪ S5: la aplicación muestra el mensaje de error y no se muestra ningún listado. El operario tendría que volver al paso 3 nuevamente.

Cuadro 5.3: REQ3. Etiquetar Productos

5.2. Arquitectura del sistema

En este apartado se detalla la arquitectura de la aplicación/sistema RFIDCenter implementada (5.2) con el propósito de plasmar los distintos elementos (3.1) y comunicaciones que se establecen entre los mismos, así como para facilitar también la comprensión y finalidad de cada uno de ellos.

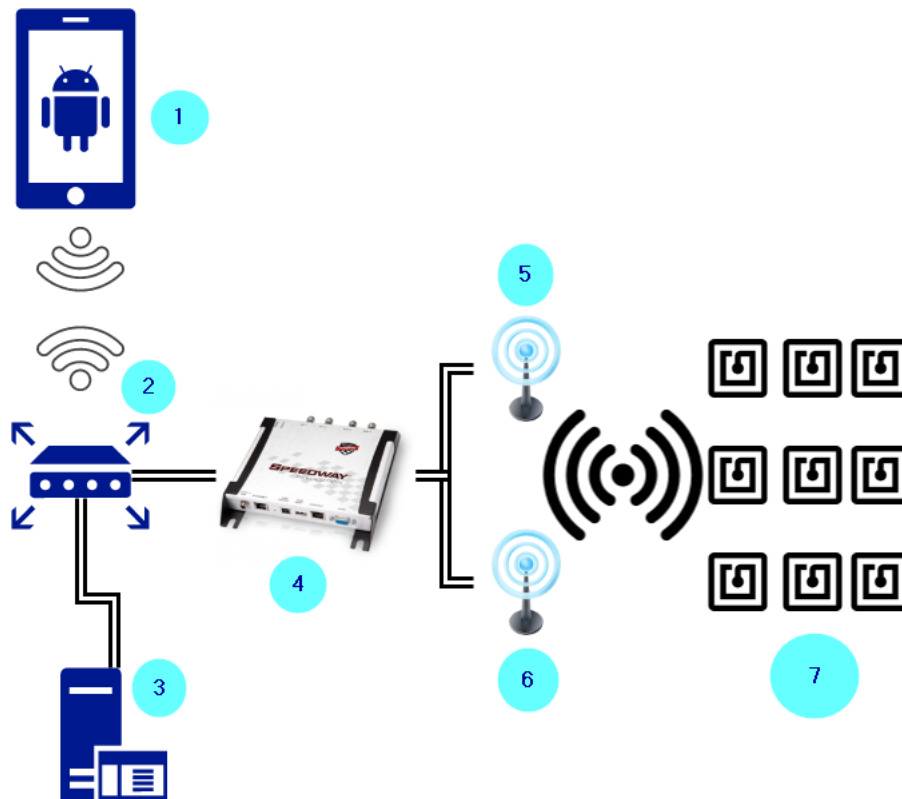


Figura 5.2: Arquitectura RFIDCenter

En la figura 5.2 se puede observar la arquitectura de alto nivel del sistema, y a continuación, se explica el objetivo de cada una de las partes o elementos involucrados en el funcionamiento del sistema RFIDCenter:

1. **Aplicación RFIDCenter:** es la aplicación móvil desarrollada para Android (con Microsoft Xamarin), y que hace de punto de contacto con el sistema RFIDCenter y

los usuarios para realizar los distintos casos definidos (clientes y operarios).

La aplicación se encuentra conectada al sistema mediante conexión WiFi para poder realizar los distintos tipos de peticiones que el sistema se encarga de procesar y ejecutar, proporcionando una respuesta: lectura de etiquetas, etiquetar nuevos productos o consultar la base de datos para obtener información necesaria para el funcionamiento de la misma.

2. **Router WiFi:** este elemento de red sirve de punto de interconexión para proporcionar conectividad entre distintos elementos:

- Mediante WiFi: proporciona conectividad entre la aplicación móvil y el resto del sistema (base de datos y lector RFID).
- Mediante cable: interconecta los elementos “backend” del sistema (base de datos y lector RFID) de forma que el “frontend” (aplicación Android) pueda realizar peticiones a la base de datos para conseguir información de los productos, usuarios o compras realizadas, o bien, para ejecutar una orden de lectura o etiquetado de los productos.

3. **Servidor - Base de datos:** este servidor contiene la información necesaria para el funcionamiento de la aplicación móvil (base de datos no relacional - MongoDB):

- Usuarios: contiene la información relativa a los usuarios: número móvil de la SIM utilizada en el móvil (es el identificador de usuario), y el rol que tienen (Clientes u Operarios).
- Productos: contiene la información relativa a los productos con los que se pueden etiquetar los tags RFID: EPC (identificador de producto), nombre del producto y precio.
- Compras: contiene la información global de las compras realizadas por todos los usuarios mediante la aplicación: fecha de la compra, identificador de usuario

(número de teléfono), listado de productos que se adquirieron en la compra, y precio total de la compra.

4. **Lector RFID:** este elemento se encarga tanto de procesar las peticiones de lectura de detección de productos (compras), como las peticiones de escritura realizadas para inventariar las etiquetas como determinados productos.

Para ello, se encarga de generar y procesar las señales adecuadas enviadas y recibidas de las antenas (utilizando el kit de desarrollo del fabricante del lector, OctaneSDK).

5. **Antena:** este elemento únicamente transmite las señales generadas por el lector a las etiquetas RFID que se encuentren dentro de su alcance, así como de recibir la señal de respuesta de las etiquetas RFID y transmitírselas al lector RFID para que se encargue de procesar la señal para obtener una respuesta final (de manera acorde al estándar EPCGen2).

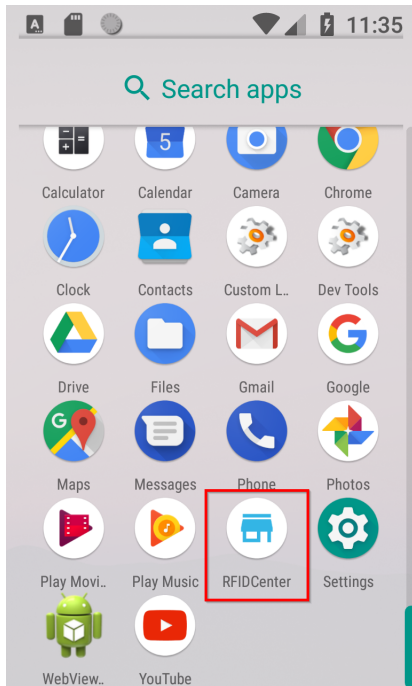
6. **Antena:** igual que la anterior.

7. **Etiquetas RFID-UHF:** elemento que contiene la información identificativa del producto (mediante el campo EPC de las etiquetas).

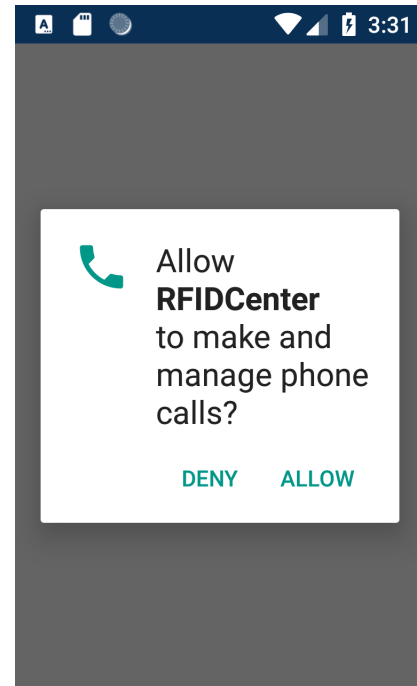
5.3. App RFIDCenter - Android

Para finalizar este capítulo, en este apartado se describe una guía de utilización de la aplicación móvil desarrollada con el objetivo de implementar los tres casos de uso definidos en la fase de diseño.

Al iniciar la aplicación, lo primero que encontramos es que se nos solicita permisos para poder acceder a la SIM (5.3), esto es necesario para obtener el identificador de usuario (número de teléfono asociado a la SIM)



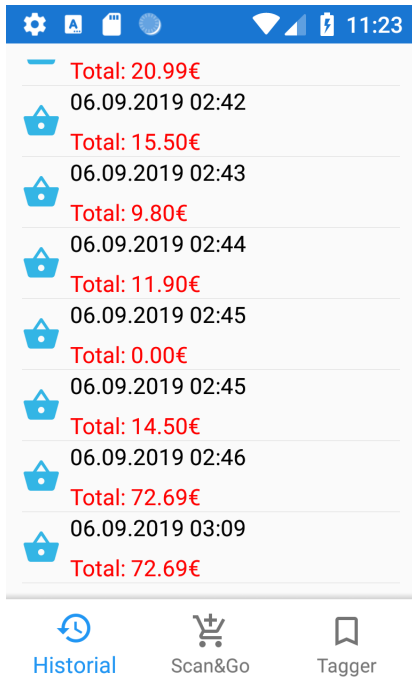
(a) RFIDCenter - Icono



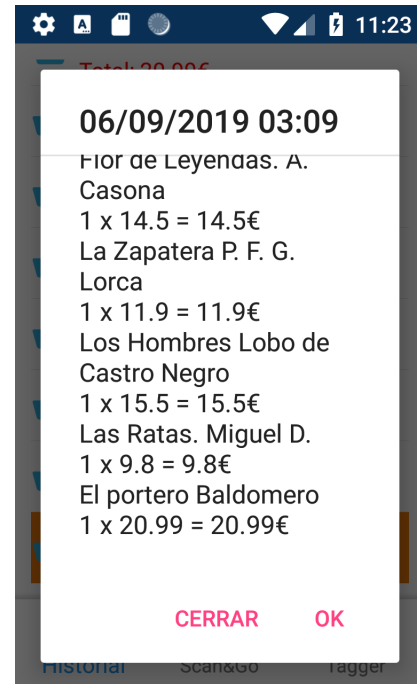
(b) RFIDCenter - Permisos consulta SIM

Figura 5.3: RFID Center - Inicio

Una vez dentro, y tras haber hecho alguna compra previamente, podemos observar que nos aparece el listado de compras realizadas por el usuario, y si pulsamos sobre alguna, nos aparece el detalle de la misma (Figura 5.4)



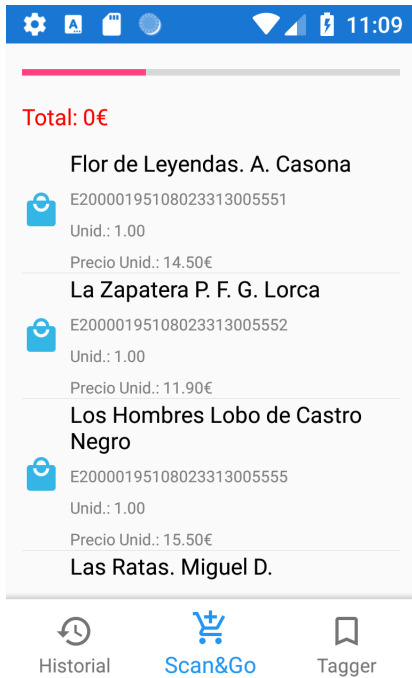
(a) RFIDCenter - Historial de compras



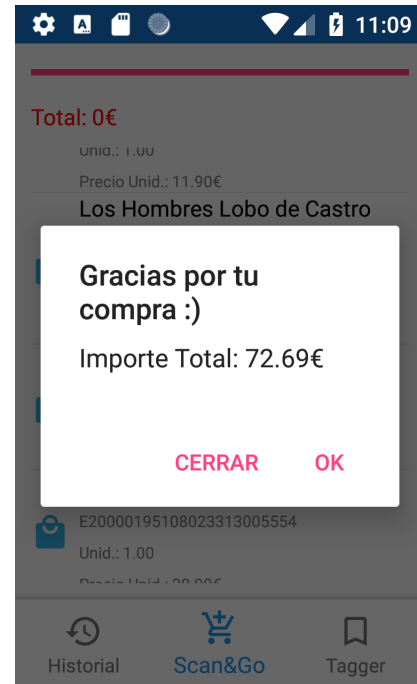
(b) RFIDCenter - Detalle de compra

Figura 5.4: RFID Center - Pestaña Historial

Si ahora nos vamos a la pestaña “Scan&Go” (5.5), la aplicación ordena al lector RFID realizar una lectura de los productos que se encuentren dentro de su radio de alcance, y según los va encontrando va reflejando en esta vista y transcurrido un cierto tiempo predefinido (cuando la barra de progreso se completa), aparece un mensaje informándonos de que la detección de productos ha finalizado y del precio total de la compra (la cual se añade al historial de compras por si el usuario quisiera consultar la información posteriormente).



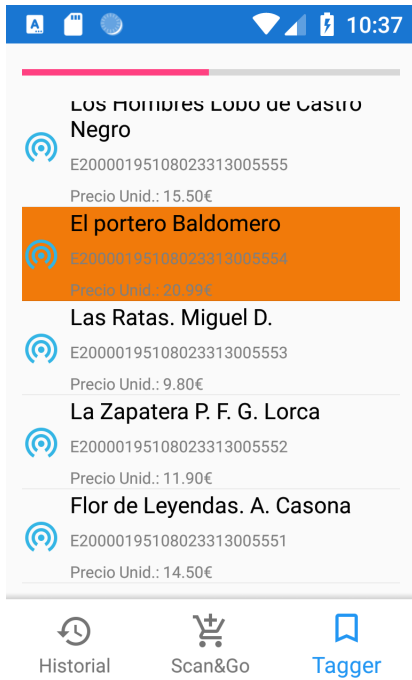
(a) RFIDCenter - Detección de productos



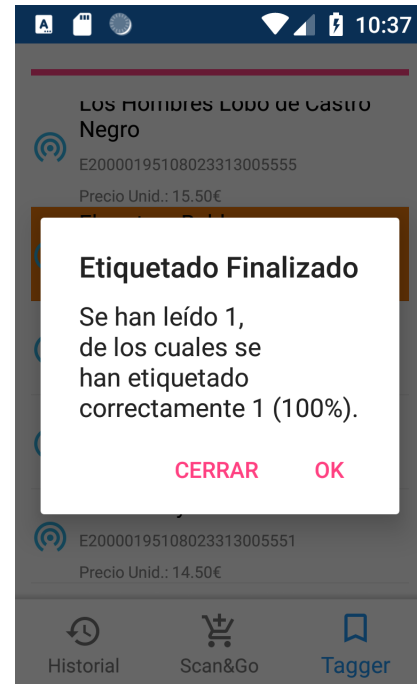
(b) RFIDCenter - Finalización de compra

Figura 5.5: RFID Center - Pestaña ScanGo

Finalmente, si tenemos un rol Operario (si somos clientes, no se vería nada en esta pestaña) y vamos a la pestaña “Tagger” (5.6), veremos un listado de productos con los que se pueden etiquetar los tags RFID. Finalmente, cuando se completa, nos aparece un mensaje informándonos del porcentaje de etiquetas (del total que se habían detectado), por si se hubiera producido algún fallo.



(a) RFIDCenter - Listado de productos



(b) RFIDCenter - Finalización de etiquetado

Figura 5.6: RFID Center - Pestaña Tagger

Capítulo 6

Conclusiones y trabajo futuro

6.1. Conclusiones

A continuación se reflejan las principales conclusiones, experiencias y conocimientos adquiridos tras haber realizado este proyecto, así como el cumplimiento de los objetivos inicialmente definidos.

Dado que el conocimiento o experiencias previas relacionados con las tecnología RFID-UHF al inicio del proyecto eran escasos e insuficientes, se recopilaron y analizaron diversos artículos y fuentes relacionadas con el fin de aumentar el conocimiento sobre la tecnología usada en el proyecto (y su historia), comprendiendo así sus principales conceptos, su funcionamiento, los elementos de los que está compuesto, áreas en las que se está utilizando, el impacto que tiene sobre la salud, posibles ataques de seguridad y medidas mitigadoras existentes, y por último, algoritmos anti-colisiones utilizados en esta. Tras esta fase de investigación, se alcanzó un mayor grado de comprensión y entendimiento sobre la tecnología RFID.

Tras haber adquirido los conocimientos necesarios y para poner en práctica los mismos, se realizó una primera toma de contacto con la tecnología RFID analizando las caracterís-

ticas del equipamiento disponible y realizando pruebas para verificar su funcionamiento y comprender así de una forma práctica las distintas operaciones que se pueden realizar.

Después de realizar el primer contacto con la tecnología de forma práctica, se llevó a cabo una profunda fase de evaluación y de experimentación de la tecnología con el fin de comprender la efectividad del mismo, realizando para ello diversas pruebas en distintos entornos, recogiendo muestras de datos y, por último, analizando de forma detallada y razonada las principales conclusiones obtenidas.

Finalmente, y con el objetivo de mostrar un caso de implementación práctico de la tecnología RFID en el entorno de una tienda o centro logístico, se ha realizado una aplicación móvil para Android utilizando el entorno de desarrollo ofrecido por el fabricante (Impinj - OctaneSDK).

En definitiva, con la realización de este trabajo se han adquirido conocimientos profundos de la tecnología RFID de los cuales no se disponía con anterioridad, tanto de forma teórica como práctica, comprendiendo así la aplicabilidad y los distintos aspectos de esta tecnología en los diversos entornos. También se han adquirido diversos conocimientos en cuanto a la metodología, herramientas y experiencia para realizar la evaluación y los análisis detallados de la tecnología mediante la experimentación aplicando un razonamiento crítico y deduciendo las principales conclusiones resultantes de la experimentación. También se ha adquirido experiencia en cuanto a la utilización de tecnologías relevantes como por ejemplo: C#, el entorno de desarrollo OctaneSDK, MongoDB, Xamarin, Python (Pandas, Matplotlib), lo cual valoro muy positivamente de cara a su utilización en el futuro.

De esta forma, se han completado los principales objetivos definidos al inicio del proyecto, plasmados en el presente documento, el cual se espera que sirva como base para futuros análisis o estudios relacionados con esta tecnología o incluso sirva a modo orientativo para realizar implantar esta en entornos reales, como por ejemplo, en una tienda o centro logístico.

6.2. Trabajo futuro

Para finalizar, a continuación se exponen las posibles mejoras, ampliaciones o estudios derivados que podrían realizarse partiendo del proyecto realizado son:

- **Ampliación del análisis.** Tras la experimentación realizada y mediante únicamente la observación, se puede intuir que la altura y posicionamiento de la/s antena/s influye de forma muy relevante en la distancia y el ratio de detección a la que se detectan las etiquetas, por lo que sería interesante realizar un estudio, con datos, que analice la introducción de ambos componentes (posición y altura).
- **Utilización de Machine Learning.** Sería interesante investigar e implantar alguna solución de RFID que utilice técnicas de Machine Learning para por ejemplo: predecir en base a una serie de atributos a qué distancia o posición se encuentran los objetos o, etiquetar productos mediante una simple imagen mediante análisis de imágenes.
- **Clúster de lectores RFID.** En este proyecto únicamente se ha utilizado un lector RFID, pero, sería interesante expandir el alcance utilizando un clúster de lectores para cubrir espacios más amplios como, por ejemplo, monitorizar todos los productos de una gran superficie comercial.
- **Aplicación IoT.** Como se ha visto, la tecnología RFID es bastante susceptible de ser utilizada conjuntamente con tecnologías IoT con el fin de recopilar y enviar la información para posteriormente realizar diversas utilidades con los mismos (desde Big Data, hasta sistemas de alertas o de monitorización de eventos). En este sentido, se puede proponer desarrollar una aplicación para monitorizar mediante RFID si hay una inundación en un entorno crítico, o si la temperatura de un CPD está aumentando considerablemente, o por ejemplo, para monitorizar el estado de salud de los pacientes de un hospital o de una residencia.

Capítulo 7

Introduction

7.1. Introduction to RFID Technology

The main target of RFID technology (Radio Frequency Identification) is to identify or recognise an element known as a tag, which can be found anywhere, such as on clothes, vehicles, factory products, in a logistics centre or even on people themselves.

The origins of this technology date back to the Second World War. At that time, Allied bombers used a system based on radio identification, and although they could monitor by radar who or what was entering into their territory, they were unable to distinguish whether it was an Allied aircraft or whether it belonged to the enemy [20][26]. The Germans discovered that if the pilots performed movements called “**Roll**” (rotation movement on the X axis) in an airplane when returning to the base, the signal reflected by the radar was different, which served to monitor and alert to the base whether the aircraft was an enemy or an ally (this is the base of what is now called passive RFID) [20][26].

On the other hand, the British also developed their own identification system to recognize an aircraft as an ally or enemy when it penetrates within the effective range of the radar. This project or system was called **Identify Friend or Foe (IFF)** and was directed by Watson-

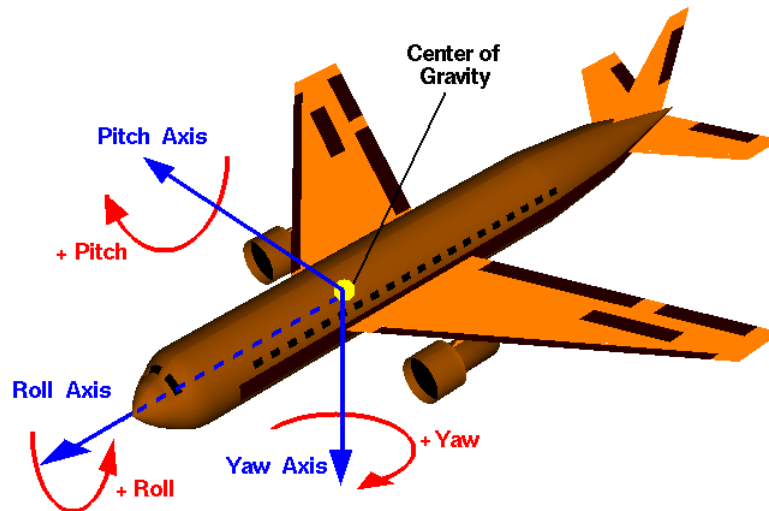


Figura 7.1: Roll, Pitch and Yaw movements of an aircraft

Watt. This system implied placing transmitters on each allied aircraft, so that they were activated and began to emit identification signals when they were within range of the radar, and thus be able to identify whether the aircraft belonged to the allied block or not (this is the base of what is now called active RFID) [20][26].

After the Second World War, during the 1950s and 1960s, scientists and academics from the United States, Europe and Japan conducted research explaining how RF energy could be used to identify objects remotely. At this time, companies began to implement anti-theft systems based on the technology described by these investigations: with a bit, the product was identified as paid or unpaid, and in the case that the product had been stolen, the system detected it by identifying the value of this bit and alerted the corresponding employees to take the appropriate measures. The system described is a clear example of how the basics of the technology resulting from the studies performed at that time have been extended to the current day and hence its relevance [20][26].

In 1973, Mario W. Cardullo received the first patent for an active RFID tag in the U.S., at the same time that Charles Walton received that same year the patent for a passive transponder with modifiable memory to open a door (if the reader detected a valid identifier

number in the tag, the door was unlocked). In addition, in the 1970s, the U.S. government developed systems that used this technology, among other uses, to track nuclear materials or even animals [20][26].

In the beginning of the 1990s, IBM developed and patented the first RFID system that made use of **Ultra High Frequency (UHF)**. This innovative system offered high read and write speeds as well as a considerable reading distance (up to 6 meters). Because the technology was quite expensive and due to the absence of international standards, it was not until 1999 when RFID-UHF technology was considerably expanded, when different organizations founded the Auto-ID center at MIT, which was supported by more than 100 collaborating enterprises and the U.S. Department of Defense, which facilitated the development of international standards, such as the so-called “Air Interfaces Protocols” (Class 1 and Class 0) and the enumeration scheme **Electronic Product Code (EPC)** [20][26].

In October 2003, the Auto-ID center was closed, and all of its investigations became the responsibility of Auto-ID Labs. Already in 2004, EPCglobal published the second generation of the standard whose main objective was to establish the bases of a massive implementation, which today is the one that is still used [20][26].

Nowadays, RFID is a technology that is in full growth and extension, mainly due to the fact that RFID systems are beginning to be implemented in different industrial and/or commercial areas, and to the fact that they automate and improve traditional processes “tradicionales”, optimising costs and times. Some of the main areas or fields of application of this technology are: real-time tracking of packages (Amazon), stock control and sales in shops or commercial areas (Decathlon), access control to parking areas, or even the identification of animals for health control.

The following is an example of a scenario in which RFID technology is used to understand its utility and objectives:

An internationally known company, whose main business is the sale and shipment of products through a web channel, performs hundreds of thousands of purchases and sales transactions of products on a daily basis, assuring the customer an optimal delivery time, and also, for greater customer satisfaction, the company offers to track in real time its order (in which stage).

Logistics centers and processes of this company are equipped with the use of RFID technology due to the large volume of daily orders and the volume of customers who want to check the status of their order in real time, which can only be possible because the company has implemented the use of RFID technology.

In the previous scenario it can be seen that the use of RFID technology makes it possible to achieve one of the objectives or business requirements of a company, which allows it to be differentiated from the rest of its competitors, increasing customer satisfaction and the likely addition of new customers. In addition and inherently, the RFID technology itself involves an improvement and automation of the “traditional” processes that are insufficient for current business requirements.

So, since its historical beginnings, RFID technology and the different elements that compose it have experimented a great evolution in the last years, mainly due to the elaboration of standards, to the interest of different industries, to the low economic cost that supposes its implantation, to the benefits that it provides (follow-up, audit, automation, etc...), and finally, to the own Digital Transformation of the companies and society.

7.2. Motivation

As already explained in the section 7.1, in recent years several standards and studies related with RFID technology have appeared and this fact has make easier that this tech-

nology can be applied in different areas of society (construction, health, trade, industrial processes, etc.).

The main motivation for this work is to deepen in the different theoretical and practical aspects of RFID technology, making it an application / system that makes use of it, and also developing a complete and detailed analysis of RFID technology that can be used for future related studies or even as a guidance for making and / or assessing the implementation of RFID technology.

In addition to the above, other motivations are:

- Use of innovative technologies for the development of mobile applications.
- Use of recent database technologies.
- Automation of “traditional” processes and the benefits they can bring.

7.3. Targets

After having explained in the previous sections what RFID technology is, its expansion, the benefits it offers and the main reasons that have led to the realization of this work, the main targets of the project are detailed below.

The main target of the project is to deepen the theoretical and practical RFID technology, for which an application will be developed (for Android) that uses RFID technology (in the context of a store), and in addition, a detailed analysis will be made through experimentation with the technology and testing in various environments, which is intended to serve as a base for other related studies, or even an orientative way, to assess the implementation of RFID technology.

7.4. Work Plan

Below is a description of the work plan to be followed in reaching the targets defined for the project.

This work plan is divided into phases (in order of implementation):

- **First Phase - Research and Initial Tests** The objective of this phase is to understand the technology that will be used, for which purpose it will begin by analyzing different articles and sources of information related to RFID technology, as well as standards and other relevant aspects of it. Subsequently, the knowledge obtained will be applied in a practical way using the Impinj Item Test Software to perform several tests of “contact” with the technology.
- **Second Phase - Experimentation and Detailed Analysis** In this second phase, technology will be tested by defining a series of tests in different environments and performing an extensive detailed analysis of the results, and finally, defining conclusions resulting from this phase.

In this phase we will use all the available material, the Impinj Item Test sampling software, as well as data analysis tools and graph generation (Python).

- **Third Phase - Logistic Control System Implementation** In this last phase, and with all the information resulting from the previous analyses, a mobile application will be created that uses RFID technology to control the I/O of products in the environment of a logistics centre or store.

In this phase all available material will be used, as well as other Software to implement the system: Microsoft Xamarin (C#), MongoDB, etc.

7.5. Document Structure

The structure of this document is detailed below in order to make it easier to read and understand:

The document begins with the chapter on **Introduction**, in which the motivation and the main objectives for the realisation of the project are defined.

This is followed by the chapter on **State of the Art**. This chapter analyses the relevance, usefulness, implementation of RFID systems and their main relevant aspects. In addition, it details the generic architecture used, the elements and general concepts of these systems. Finally, studies related to RFID are analyzed to understand the problems detected, solutions. This chapter concludes with the main challenges that this technology has.

In the following chapter, **Contacting - RFID Laboratory**, the elements used during the projects are detailed, as well as the initial or first contact tests with the technology, analysing in a practical way some of the different theoretical aspects included in the previous chapter.

In the chapter **Application development for a system control of a RFID Logistic Center**, some aspects related to the design of the application (architecture, components, database scheme, etc) are detailed, as well as the functionalities of the implemented application.

Next, in the chapter **Experimentation - Analysis of results**, the methodology of the different tests performed and the detailed analysis with the main conclusions of the use of RFID technology in different environments are explained in depth.

In the chapter **Conclusions and future work**, the conclusions are presented and the results obtained are analysed. In addition, it will reflect possible future work or improvements

to be made on the project carried out and documented.

Finally, at the end of the document it is included the **Bibliography** used in this document and the **Appendix A**, which contains all the data (in table format) used for the analysis of the chapter **Experimentation - Analysis of results**.

Capítulo 8

Conclusions and future work

8.1. Conclusions

This chapter discusses, you can find the principal conclusions, experiences and knowledge acquired after the work has been finalised, and also how the initially defined targets have been achieved.

Due to the lack of knowledge, to the lack of previous experiences and with the unique target to get more knowledge about RFID-UHF technology and its history, the project started with a researching and a analysis of multiple papers and sources that possessed information from many aspects about this technology, with the aim to understand its principals terms, concepts, operations, elements, applicability areas, impact on health, possibles security breaches and countermeasures, and finally, the anticollisions algorithms that are used.

Once enough knowledge was acquired to putting them in a practical way, a first contact with RFID technology was made, analysing the characteristics of the available equipment and carrying out tests to verify its operation and thus understand, in a practical way, the different operations or functionalities that can be done with this technology.

After making the first contact with the technology in a practical way, a deep phase

of evaluation and experimentation of the technology was done in order to understand its effectiveness, carrying out various tests in different environments, collecting data samples and, finally, analysing in a detailed and reasoned way the main conclusions obtained.

Finally, and in order to show a case of practical implementation of RFID technology in the environment of a store or logistics center, a mobile application has been developed for Android using the development environment offered by the manufacturer (Impinj - OctaneSDK).

In short, during the realisation of this work, in-depth knowledge of RFID technology has been acquired (which was not previously available), by theoretical and practical way, thus understanding the usefulness and different aspects of this technology in different environments. Likewise, different knowledge has been acquired such as the methodology, the tools and the experience to carry out the evaluation and detailed analysis of the technology through experimentation applying a critical reasoning and deducing the main conclusions resulting from the experimentation. Experience has also been obtained with the use of relevant technologies such as: C#, the development environment OctaneSDK, MongoDB, Xamarin, Python (Pandas, Matplotlib), which I think that are very interesting to be used in the future.

By this way, the main objectives defined at the beginning of the project have been reached and detailed in this document, which is expected to be used as a base document for future analysis or studies related to this technology or even to be used as a guideline for implementing it in real environments, such as, for example, in a shop or logistics centre.

8.2. Future Work

The possible improvements that can be done using this project as a starting point or base are:

- **Analysis Expansion.** After the experimentation have been done and only using observation (without data or analysis), it can be that the height and position of the antennas can be very related with the distance and detection rate of the RFID tags, so, it would be interesting to do an study or work that analyzes in detail the influence of these two new variables (position and height).
- **Use of Machine Learning.** It would be interesting to do some research and to deploy an RFID solution that is based on Machine Learning techniques. Some examples of this are: based on some attribute, try to predict in which position are the tags or use Image Analysis techniques to identify and tag a product by just analyzing the product visually.
- **Cluster of RFID Readers.** In this project only one RFID Reader has been used, but it would also be interesting to expand the scope using many RFID Readers that constitute a cluster to reach wide spaces with the aim, for example, to monitorize all existent products in a big shopping centre.
- **Aplicación IoT.** As it has been explained before, the RFID technology is very susceptible to be used with IoT technologies in order to save the data that IoT devices collect from the environment and that are sent to be analysed or in order to develop utilities with them (for example, Big Data, Alerts or Monitoring Event Systems). This way, a significant contribution would be to develop an application to monitorize critical infrastructures through RFID technology or to monitorize the health state of patients in hospitals.

Bibliografía

- [1] Marco Allegretti y Silvano Bertoldo. “Recharging RFID Tags for Environmental Monitoring Using UAVs: A Feasibility Analysis”. En: *Wireless Sensor Network* 07.02 (2015), págs. 13-19. DOI: [10.4236/wsn.2015.72002](https://doi.org/10.4236/wsn.2015.72002). URL: <https://doi.org/10.4236/wsn.2015.72002>.
- [2] Anonymous. *EPC UHF Gen2 Air Interface Protocol*. Dic. de 2015. URL: <https://www.gs1.org/standards/epc-rfid/uhf-air-interface-protocol>.
- [3] D. Arumugam y D. Engels. “Specific absorption rates in the human head and shoulder for passive UHF RFID systems”. En: *International Journal of Radio Frequency Identification Technology and Applications* 2.1/2 (2009), pág. 1. DOI: [10.1504/ijrfita.2009.023481](https://doi.org/10.1504/ijrfita.2009.023481). URL: <https://doi.org/10.1504/ijrfita.2009.023481>.
- [4] D.D. Arumugam y D.W. Engels. “Impacts of RF radiation on the human body in a passive RFID environment”. En: *2008 IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*. IEEE, jul. de 2008. DOI: [10.1109/aps.2008.4619663](https://doi.org/10.1109/aps.2008.4619663). URL: <https://doi.org/10.1109/aps.2008.4619663>.
- [5] Alejandro Donaire Ballesteros y Rayner Tan Luc. “Sistema de identificación por radiofrecuencia para competiciones deportivas”. 2018. URL: <https://eprints.ucm.es/54982/>.
- [6] M. Beetz, B. Kirchlechner y M. Lames. “Computerized real-time analysis of football games”. En: *IEEE Pervasive Computing* 4.3 (jul. de 2005), págs. 33-39. ISSN: 1536-1268. DOI: [10.1109/MPRV.2005.53](https://doi.org/10.1109/MPRV.2005.53).
- [7] A. Buffi y P. Nepa. “The SARFID Technique for Discriminating Tagged Items Moving Through a UHF-RFID Gate”. En: *IEEE Sensors Journal* 17.9 (mayo de 2017), págs. 2863-2870. ISSN: 1530-437X. DOI: [10.1109/JSEN.2017.2680247](https://doi.org/10.1109/JSEN.2017.2680247).
- [8] Micah Byers y col. “Brute Force Attack of EPCglobal UHF Class-1 Generation-2 RFID Tag”. En: *2007 IEEE Region 5 Technical Conference*. IEEE, abr. de 2007. DOI: [10.1109/tpsd.2007.4380340](https://doi.org/10.1109/tpsd.2007.4380340). URL: <https://doi.org/10.1109/tpsd.2007.4380340>.
- [9] T. Cheng y Li Jin. “Analysis and Simulation of RFID Anti-collision Algorithms”. En: *The 9th International Conference on Advanced Communication Technology*. Vol. 1. Feb. de 2007, págs. 697-701. DOI: [10.1109/ICACT.2007.358450](https://doi.org/10.1109/ICACT.2007.358450).
- [10] *Code of Federal Regulations*. URL: https://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?SID=7d207f954826ed54e689d2af00c8c24c&mc=true&node=se47.1.1_11310&rgn=div8.
- [11] Dartfish. *All-in-One Solution for Live performance analysis*. URL: <https://www.dartfish.com/football>.

- [12] D. W. Engels, Y. S. Kang y J. Wang. “On security with the new Gen2 RFID security framework”. En: *2013 IEEE International Conference on RFID (RFID)*. Abr. de 2013, págs. 144-151. DOI: [10.1109/RFID.2013.6548148](https://doi.org/10.1109/RFID.2013.6548148).
- [13] *EPC Gen2 Memory*. URL: <https://rfid4u.com/rfid-basics-resources/epc-gen2-memory/>.
- [14] Aislan Gomide Foina y col. “Player Tracker - a tool to analyze sport players using RFID”. En: *2010 8th IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PERCOM Workshops)*. IEEE, mar. de 2010. DOI: [10.1109/percomw.2010.5470538](https://doi.org/10.1109/percomw.2010.5470538). URL: <https://doi.org/10.1109/percomw.2010.5470538>.
- [15] *Futuristic Inspections for Bridge Safety*. Mayo de 2014. URL: <https://now.tufts.edu/articles/futuristic-inspections-bridge-safety>.
- [16] G. P. Hancke y M. G. Kuhn. “An RFID Distance Bounding Protocol”. En: *First International Conference on Security and Privacy for Emerging Areas in Communications Networks (SECURECOMM'05)*. Sep. de 2005, págs. 67-73. DOI: [10.1109/SECURECOMM.2005.56](https://doi.org/10.1109/SECURECOMM.2005.56).
- [17] <https://www.rfid-alliance.com/RFIDshop/Alien-Technology-Higgs-3-IC-Datasheet.pdf>.
- [18] <http://www.alientechnology.com/wp-content/uploads/Alien-Technology-Higgs-3-ALN-9662-Short.pdf>.
- [19] RFID Journal. *Ask The Experts Forum*. URL: <https://www.rfidjournal.com/blogs/experts/entry?5001>.
- [20] RFID Journal. *The History of RFID Technology*. URL: <https://www.rfidjournal.com/articles/view?1338/>.
- [21] Aimee Kalnoskas. *How do RFID tags and reader antennas work?* Abr. de 2017. URL: <https://www.analogictips.com/rfid-tag-and-reader-antennas/>.
- [22] Seungnam Kang y Zornitza Prodanoff. “RFID Model for Simulating Framed Slotted ALOHA Based Anti-Collision Protocol for Muti-Tag Identification”. En: *Current Trends and Challenges in RFID*. InTech, jul. de 2011. DOI: [10.5772/16601](https://doi.org/10.5772/16601). URL: <https://doi.org/10.5772/16601>.
- [23] *Kilómetro por hora*. Jul. de 2019. URL: https://es.wikipedia.org/wiki/Kil%C3%B3metro_por_hora.
- [24] Damodara U. Kini. “Materials Management: The Key to Successful Project Management”. En: *Journal of Management in Engineering* 15.1 (ene. de 1999), págs. 30-34. DOI: [10.1061/\(asce\)0742-597x\(1999\)15:1\(30\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0742-597x(1999)15:1(30)). URL: [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0742-597x\(1999\)15:1\(30\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0742-597x(1999)15:1(30)).
- [25] *LAIRD TECHNOLOGIES | PAS69278P-91NF | Pole Mount Low-PIM Directional Panel Antenna, 91cm Cable, Dual Type N Female Connector*. URL: https://www.anixter.com/en_uk/product-detail.PAS69278P-91NF-LAIRD-TECHNOLOGIES.PS-In-building%20Wireless.PAS69278P-91NF.html.

- [26] C. Li, K. Lao y K. Tam. “A Flooding Warning System based on RFID Tag Array for Energy Facility”. En: *2018 IEEE International Conference on RFID Technology Application (RFID-TA)*. Sep. de 2018, págs. 1-4. DOI: [10.1109/RFID-TA.2018.8552767](https://doi.org/10.1109/RFID-TA.2018.8552767).
- [27] *Locking Memory on EPC RFID Tags*. URL: <https://support.impinj.com/hc/en-us/articles/202756408-Locking-Memory-on-EPC-RFID-Tags>.
- [28] M. Longhi y G. Marrocco. “Flying sensors: Merging Nano-UAV with radiofrequency identification”. En: *2017 IEEE International Conference on RFID Technology Application (RFID-TA)*. Sep. de 2017, págs. 164-168. DOI: [10.1109/RFID-TA.2017.8098875](https://doi.org/10.1109/RFID-TA.2017.8098875).
- [29] *¿Qué es RFID?* URL: <https://www.by.com.es/blog/que-es-rfid/>.
- [30] *RFID technology market worldwide 2014-2025 | Statistic*. URL: <https://www.statista.com/statistics/781338/global-rfid-technology-market-revenue/>.
- [31] Jongchul Song, Carl T. Haas y Carlos H. Caldas. “Tracking the Location of Materials on Construction Job Sites”. En: *Journal of Construction Engineering and Management* 132.9 (sep. de 2006), págs. 911-918. DOI: [10.1061/\(asce\)0733-9364\(2006\)132:9\(911\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9364(2006)132:9(911)). URL: [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9364\(2006\)132:9\(911\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9364(2006)132:9(911)).
- [32] *The flying inventory assistant - Research News December 2014 - Topic 4*. URL: <https://www.fraunhofer.de/en/press/research-news/2014/december/the-flying-inventory-assistant.html>.
- [33] *Transmission power, Range and RSSI*. URL: <https://support.kontakt.io/hc/en-gb/articles/201621521-Transmission-power-Range-and-RSSI>.
- [34] Y. Zhang y col. “3-Dimensional Localization via RFID Tag Array”. En: *2017 IEEE 14th International Conference on Mobile Ad Hoc and Sensor Systems (MASS)*. Oct. de 2017, págs. 353-361. DOI: [10.1109/MASS.2017.22](https://doi.org/10.1109/MASS.2017.22).

Apéndice A

Datos de las gráficas del Capítulo 4

	RSSI
Distance	
0	-60.842194
1	-58.488925
2	-61.949827
3	-62.250216
4	-64.408897
5	-65.577696
6	-63.309922
7	-68.977297

Cuadro A.1: Relación RSSI Medio/Distancia - Interior - 1 Antena

Power Distance	14	16	18	20	22	24	26	28	30
0	NaN	-59.623839	-58.087675	-58.846030	-60.090816	-60.464901	-61.132069	-61.607905	-62.008545
1	-55.520344	-56.313841	-56.668536	-56.924794	-57.698258	-58.596030	-59.040360	-59.417357	-59.727429
2	NaN	NaN	-59.778226	-59.271121	-60.923077	-61.463494	-61.868813	-62.279041	-63.063663
3	NaN	NaN	-59.393846	-60.701070	-61.000000	-61.559304	-61.803954	-62.850125	-63.335096
4	NaN	NaN	NaN	NaN	-63.492331	-63.800164	-64.014524	-64.287029	-64.993619
5	NaN	NaN	NaN	NaN	-65.000000	-64.701046	-64.892110	-65.601100	-66.103774
6	NaN	NaN	NaN	-62.855159	-61.589021	-61.717232	-62.748344	-63.321901	-64.717628
7	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	-69.598039	-69.586905	-68.663393

Cuadro A.2: Relación RSSI Medio/Distancia - Desglose por Potencia (dBm) - Interior - 1 Antena

Used Tags Distance	1	2	5	10	20	30
0	-58.048695	-59.325270	-61.261837	-61.578458	-62.978899	-60.277477
1	-54.023521	-56.335416	-57.911335	-59.550561	-60.567108	-59.647747
2	-58.482566	-60.837643	-61.795065	-62.334050	-64.202388	-62.570574
3	-58.235781	-62.619085	-60.846837	-62.564998	-65.286500	-63.363737
4	-62.828372	-65.579057	-63.552058	-64.772791	-65.590018	-64.058646
5	-65.099908	-66.222703	-69.119910	-66.205267	-65.647969	-64.339070
6	-61.630422	-62.621397	-63.762185	-63.017408	-67.860702	-71.000000
7	-68.225785	-69.563008	NaN	-69.082237	-68.339523	-70.571584

Cuadro A.3: Relación RSSI Medio/Distancia - Desglose por Etiquetas - Interior - 1 Antena

	RSSI
Power	
14	-55.520344
16	-57.165737
18	-57.685582
20	-58.462874
22	-59.795414
24	-60.842337
26	-61.606454
28	-62.633161
30	-63.397176

Cuadro A.4: Relación RSSI Medio/Potencia - Interior - 1 Antena

Distance	0	1	2	3	4	5	6	7
Power								
14	NaN	-55.520344	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
16	-59.623839	-56.313841	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
18	-58.087675	-56.668536	-59.778226	-59.393846	NaN	NaN	NaN	NaN
20	-58.846030	-56.924794	-59.271121	-60.701070	NaN	NaN	-62.855159	NaN
22	-60.090816	-57.698258	-60.923077	-61.000000	-63.492331	-65.000000	-61.589021	NaN
24	-60.464901	-58.596030	-61.463494	-61.559304	-63.800164	-64.701046	-61.717232	NaN
26	-61.132069	-59.040360	-61.868813	-61.803954	-64.014524	-64.892110	-62.748344	-69.598039
28	-61.607905	-59.417357	-62.279041	-62.850125	-64.287029	-65.601100	-63.321901	-69.586905
30	-62.008545	-59.727429	-63.063663	-63.335096	-64.993619	-66.103774	-64.717628	-68.663393

Cuadro A.5: Relación RSSI Medio/Potencia - Desglose por Distancia - Interior - 1 Antena

Used Tags	1	2	5	10	20	30
Power						
14	-55.510937	-55.529781	NaN	NaN	NaN	NaN
16	-56.532587	-56.621649	NaN	NaN	-58.996795	-59.516260
18	-57.946060	-57.524155	-56.987768	-57.288991	-57.836420	-57.838831
20	-58.031228	-59.073472	-59.022032	-58.796715	-59.808804	-56.900712
22	-59.182184	-59.270711	-59.433793	-59.947152	-61.078521	-60.157715
24	-59.481262	-60.864257	-60.551402	-60.151380	-62.518669	-60.949435
26	-59.926100	-61.693399	-60.897454	-61.494811	-63.262053	-61.749532
28	-60.375892	-62.217828	-61.758201	-63.040489	-64.278742	-62.555565
30	-60.158182	-62.404975	-62.519635	-64.037783	-65.148312	-63.315187

Cuadro A.6: Relación RSSI Medio/Potencia - Desglose por Etiquetas - Interior - 1 Antena

	RSSI
Used Tags	
1	-59.321557
2	-60.931411
5	-61.186905
10	-62.229084
20	-63.661309
30	-61.753499

Cuadro A.7: Relación RSSI Medio/Etiquetas - Interior - 1 Antena

Distance Used Tags	0	1	2	3	4	5	6	7
1	-58.048695	-54.023521	-58.482566	-58.235781	-62.828372	-65.099908	-61.630422	-68.225785
2	-59.325270	-56.335416	-60.837643	-62.619085	-65.579057	-66.222703	-62.621397	-69.563008
5	-61.261837	-57.911335	-61.795065	-60.846837	-63.552058	-69.119910	-63.762185	NaN
10	-61.578458	-59.550561	-62.334050	-62.564998	-64.772791	-66.205267	-63.017408	-69.082237
20	-62.978899	-60.567108	-64.202388	-65.286500	-65.590018	-65.647969	-67.860702	-68.339523
30	-60.277477	-59.647747	-62.570574	-63.363737	-64.058646	-64.339070	-71.000000	-70.571584

Cuadro A.8: Relación RSSI Medio/Etiquetas - Desglose por Distancia - Interior - 1 Antena

Power Used Tags	14	16	18	20	22	24	26	28	30
1	-55.510937	-56.532587	-57.946060	-58.031228	-59.182184	-59.481262	-59.926100	-60.375892	-60.158182
2	-55.529781	-56.621649	-57.524155	-59.073472	-59.270711	-60.864257	-61.693399	-62.217828	-62.404975
5	NaN	NaN	-56.987768	-59.022032	-59.433793	-60.551402	-60.897454	-61.758201	-62.519635
10	NaN	NaN	-57.288991	-58.796715	-59.947152	-60.151380	-61.494811	-63.040489	-64.037783
20	NaN	-58.996795	-57.836420	-59.808804	-61.078521	-62.518669	-63.262053	-64.278742	-65.148312
30	NaN	-59.516260	-57.838831	-56.900712	-60.157715	-60.949435	-61.749532	-62.555565	-63.315187

Cuadro A.9: Relación RSSI Medio/Etiquetas - Desglose por Potencias - Interior - 1 Antena

	0
Distance	
0	0.900000
1	0.958333
2	0.925000
3	0.813889
4	0.713889
5	0.661111
6	0.630556
7	0.355556

Cuadro A.10: Relación Ratio Etiquetas leídas/Distancia - Interior - 1 Antena

Used Tags Distance	1	2	5	10	20	30
0	1.0	1.0	0.8	0.9	0.80	0.900000
1	1.0	1.0	1.0	0.9	0.95	0.900000
2	1.0	1.0	1.0	0.9	0.85	0.800000
3	1.0	1.0	0.8	0.7	0.65	0.733333
4	1.0	1.0	0.6	0.6	0.55	0.533333
5	1.0	1.0	0.6	0.3	0.70	0.366667
6	1.0	1.0	0.8	0.7	0.25	0.033333
7	1.0	0.5	0.0	0.3	0.10	0.233333

Cuadro A.11: Relación Ratio Etiquetas leídas/Distancia - Desglose por Etiquetas - Interior - 1 Antena

Power Distance	14	16	18	20	22	24	26	28	30
0	0.000000	0.0625	0.222222	0.55	0.772727	1.083333	1.115385	1.107143	1.133333
1	0.071429	0.1250	0.277778	0.70	1.000000	1.166667	1.230769	1.250000	1.233333
2	0.000000	0.0000	0.055556	0.05	0.318182	0.625000	0.807692	1.035714	1.200000
3	0.000000	0.0000	0.055556	0.10	0.181818	0.416667	0.615385	0.928571	0.966667
4	0.000000	0.0000	0.000000	0.00	0.045455	0.250000	0.423077	0.678571	0.800000
5	0.000000	0.0000	0.000000	0.00	0.045455	0.125000	0.230769	0.428571	0.700000
6	0.000000	0.0000	0.000000	0.05	0.045455	0.125000	0.307692	0.500000	0.600000
7	0.000000	0.0000	0.000000	0.00	0.000000	0.000000	0.038462	0.142857	0.400000

Cuadro A.12: Rel. Ratio Etiq. leídas/Distancia - Desglose por Potencias - Interior - 1 Antena

Power	0
14	0.250000
16	0.263889
18	0.336111
20	0.591667
22	0.655556
24	0.866667
26	0.911111
28	0.936111
30	1.027778

Cuadro A.13: Relación Ratio Etiquetas leídas/Potencia - Interior - 1 Antena

Used Tags	1	2	5	10	20	30
Power						
14	1.0	0.5	0.0	0.0	0.00	0.000000
16	1.0	0.5	0.0	0.0	0.05	0.033333
18	1.0	0.5	0.2	0.1	0.05	0.166667
20	1.0	1.0	0.6	0.4	0.25	0.300000
22	1.0	1.0	0.6	0.4	0.40	0.533333
24	1.0	1.0	1.0	0.7	0.70	0.800000
26	1.0	1.0	1.0	0.8	0.80	0.866667
28	1.0	1.0	1.0	0.9	0.85	0.866667
30	1.0	1.0	1.0	1.0	1.20	0.966667

Cuadro A.14: Relación Ratio Etiquetas leídas/Potencia - Desglose por Etiquetas - Interior - 1 Antena

Used Tags	EPC
1	1.000000
2	1.000000
5	1.000000
10	1.000000
20	1.200000
30	0.966667

Cuadro A.15: Rel. Ratio Etiquetas leídas/Etiquetas - Interior - 1 Antena

Power Used Tags	14	16	18	20	22	24	26	28	30
1	0.071429	0.0625	0.055556	0.05	0.045455	0.041667	0.038462	0.035714	0.033333
2	0.071429	0.0625	0.055556	0.10	0.090909	0.083333	0.076923	0.071429	0.066667
5	0.000000	0.0000	0.055556	0.15	0.136364	0.208333	0.192308	0.178571	0.166667
10	0.000000	0.0000	0.055556	0.20	0.181818	0.291667	0.307692	0.321429	0.333333
20	0.000000	0.0625	0.055556	0.25	0.363636	0.583333	0.615385	0.607143	0.800000
30	0.000000	0.0625	0.277778	0.45	0.727273	1.000000	1.000000	0.928571	0.966667

Cuadro A.16: Rel. Ratio Etiquetas leídas/Etiquetas - Desg. por Potencia - Interior - 1 Antena

Distance Used Tags	0	1	2	3	4	5	6	7
1	1.0	1.00	1.00	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000
2	1.0	1.00	1.00	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	0.500000
5	0.8	1.00	1.00	0.800000	0.600000	0.600000	0.800000	0.000000
10	0.9	0.90	0.90	0.700000	0.600000	0.300000	0.700000	0.300000
20	0.8	0.95	0.85	0.650000	0.550000	0.700000	0.250000	0.100000
30	0.9	0.90	0.80	0.733333	0.533333	0.366667	0.033333	0.233333

Cuadro A.17: Rel. Ratio Etiquetas leídas/Etiquetas - Desg. por Distancia - Interior - 1 Antena

Distance	Delta
0	0.090162
1	0.093953
2	0.091091
3	0.079436
4	0.074842
5	0.066975
6	0.049329
7	0.066333

Cuadro A.18: Rel. Tiempo entre lecturas Medio/Distancia - Interior - 1 Antena

Power	14	16	18	20	22	24	26	28	30
Distance									
0	NaN	0.061107	0.040142	0.044411	0.070617	0.092232	0.102426	0.103078	0.107376
1	0.031115	0.042109	0.040407	0.065289	0.083070	0.097576	0.104952	0.119407	0.115446
2	NaN	NaN	0.039773	0.030530	0.060636	0.063603	0.085369	0.107628	0.126356
3	NaN	NaN	0.030359	0.045040	0.040992	0.053544	0.063482	0.108522	0.103920
4	NaN	NaN	NaN	NaN	0.030502	0.051371	0.065195	0.068533	0.096662
5	NaN	NaN	NaN	NaN	4.852100	0.059367	0.050271	0.060996	0.080869
6	NaN	NaN	NaN	0.077831	0.029589	0.036324	0.038151	0.048830	0.064082
7	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	0.085682	0.059020	0.068615

Cuadro A.19: Rel. Tiempo entre lecturas Medio/Distancia - Desg. por Potencia - Interior - 1 Antena

Used Tags	1	2	5	10	20	30
Distance						
0	0.033018	0.036106	0.045056	0.076315	0.103239	0.163241
1	0.030926	0.035256	0.057861	0.073126	0.131633	0.165090
2	0.031106	0.036787	0.061996	0.084963	0.125962	0.156715
3	0.031242	0.038945	0.047874	0.072260	0.105869	0.151911
4	0.031443	0.041786	0.042032	0.071190	0.117062	0.125140
5	0.036363	0.032220	0.067285	0.050232	0.080197	0.095144
6	0.033701	0.039298	0.047363	0.060460	0.088394	NaN
7	0.038018	0.040015	NaN	0.097086	0.052184	0.145357

Cuadro A.20: Rel. Tiempo entre lecturas Medio/Distancia - Desg. por Etiquetas - Interior - 1 Antena

	Delta
Power	
14	0.031115
16	0.046992
18	0.039389
20	0.052852
22	0.064913
24	0.074461
26	0.081811
28	0.092408
30	0.100654

Cuadro A.21: Rel. Tiempo entre lecturas Medio/Potencia - Interior - 1 Antena

Distance	0	1	2	3	4	5	6	7
Power								
14	NaN	0.031115	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
16	0.061107	0.042109	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
18	0.040142	0.040407	0.039773	0.030359	NaN	NaN	NaN	NaN
20	0.044411	0.065289	0.030530	0.045040	NaN	NaN	0.077831	NaN
22	0.070617	0.083070	0.060636	0.040992	0.030502	4.852100	0.029589	NaN
24	0.092232	0.097576	0.063603	0.053544	0.051371	0.059367	0.036324	NaN
26	0.102426	0.104952	0.085369	0.063482	0.065195	0.050271	0.038151	0.085682
28	0.103078	0.119407	0.107628	0.108522	0.068533	0.060996	0.048830	0.059020
30	0.107376	0.115446	0.126356	0.103920	0.096662	0.080869	0.064082	0.068615

Cuadro A.22: Rel. Tiempo entre lecturas Medio/Potencia - Desg. por Distancia - Interior - 1 Antena

Used Tags Power	1	2	5	10	20	30
14	0.031030	0.031200	NaN	NaN	NaN	NaN
16	0.040398	0.040376	NaN	NaN	0.062962	0.079323
18	0.030159	0.036301	0.030022	0.030133	0.031418	0.074517
20	0.035291	0.038555	0.048438	0.072926	0.070721	0.074417
22	0.030147	0.032235	0.039993	0.050346	0.086647	0.146115
24	0.032825	0.035748	0.052183	0.062782	0.093415	0.133879
26	0.033411	0.041180	0.045747	0.070212	0.116297	0.137443
28	0.031772	0.037645	0.058091	0.078780	0.121290	0.160115
30	0.032117	0.036894	0.056402	0.081941	0.120288	0.191102

Cuadro A.23: Rel. Tiempo entre lecturas Medio/Potencia - Desg. por Etiquetas - Interior - 1 Antena

Used Tags	Delta
1	0.032475
2	0.037233
5	0.051601
10	0.072823
20	0.110565
30	0.151752

Cuadro A.24: Rel. Tiempo entre lecturas Medio/Etiquetas - Interior - 1 Antena

Distance Used Tags	0	1	2	3	4	5	6	7
1	0.033018	0.030926	0.031106	0.031242	0.031443	0.036363	0.033701	0.038018
2	0.036106	0.035256	0.036787	0.038945	0.041786	0.032220	0.039298	0.040015
5	0.045056	0.057861	0.061996	0.047874	0.042032	0.067285	0.047363	NaN
10	0.076315	0.073126	0.084963	0.072260	0.071190	0.050232	0.060460	0.097086
20	0.103239	0.131633	0.125962	0.105869	0.117062	0.080197	0.088394	0.052184
30	0.163241	0.165090	0.156715	0.151911	0.125140	0.095144	NaN	0.145357

Cuadro A.25: Rel. Tiempo entre lecturas Medio/Etiquetas - Desg. por Distancia - Interior - 1 Antena

Power Used Tags	14	16	18	20	22	24	26	28	30
1	0.03103	0.040398	0.030159	0.035291	0.030147	0.032825	0.033411	0.031772	0.032117
2	0.03120	0.040376	0.036301	0.038555	0.032235	0.035748	0.041180	0.037645	0.036894
5	NaN	NaN	0.030022	0.048438	0.039993	0.052183	0.045747	0.058091	0.056402
10	NaN	NaN	0.030133	0.072926	0.050346	0.062782	0.070212	0.078780	0.081941
20	NaN	0.062962	0.031418	0.070721	0.086647	0.093415	0.116297	0.121290	0.120288
30	NaN	0.079323	0.074517	0.074417	0.146115	0.133879	0.137443	0.160115	0.191102

Cuadro A.26: Rel. Tiempo entre lecturas Medio/Etiquetas - Desg. por Potencia - Interior - 1 Antena

	RSSI
Distance	
0	-60.096565
1	-58.220134
2	-61.748727
3	-62.616623
4	-64.914771
5	-64.009127
6	-65.195545
7	-66.578737

Cuadro A.27: Relación RSSI Medio/Distancia - Interior - 2 Antenas

Power Distance	14	16	18	20	22	24	26	28	30
0	NaN	-59.707182	-58.546166	-58.414729	-58.806425	-59.560979	-60.294608	-60.926845	-61.503522
1	-56.180488	-55.978637	-56.292940	-56.704368	-57.472994	-57.993393	-58.800329	-59.079921	-59.622730
2	NaN	-59.747253	-58.682594	-58.303237	-59.758806	-60.872739	-61.841503	-62.376586	-63.005375
3	NaN	NaN	-61.065341	-60.429142	-60.958498	-61.418116	-62.159070	-63.054362	-63.928862
4	NaN	NaN	NaN	-63.950000	-62.713351	-63.868479	-64.236058	-64.861065	-65.992077
5	NaN	NaN	NaN	-61.798201	-61.137597	-61.833016	-64.077608	-64.396426	-65.033118
6	NaN	NaN	NaN	-63.750000	-62.595238	-63.347015	-65.169039	-65.146657	-65.886853
7	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	-64.631902	-64.369565	-66.389397	-67.318410

Cuadro A.28: Relación RSSI Medio/Distancia - Desglose por Potencia (dBm) - Interior - 2 Antenas

Used Tags Distance	1	2	5	10	20	30
0	-57.831721	-58.970900	-60.026906	-60.978339	-61.421948	-59.705622
1	-54.112847	-56.570781	-57.275651	-58.997806	-60.169717	-58.837594
2	-57.892105	-59.611385	-60.994307	-62.690645	-64.259347	-63.580063
3	-60.380966	-60.635400	-62.623305	-63.563738	-65.661820	-63.595311
4	-62.780843	-64.130686	-65.812972	-64.089062	-66.336375	-66.102750
5	-62.164553	-63.123134	-63.266274	-63.970062	-66.371005	-64.815344
6	-63.140962	-64.153076	-66.606459	-65.402359	-66.532959	-65.710393
7	-68.686983	-68.454780	-63.665023	-67.138514	-69.908046	-70.883838

Cuadro A.29: Relación RSSI Medio/Distancia - Desglose por Etiquetas - Interior - 2 Antenas

	RSSI
Power	
14	-56.180488
16	-56.873023
18	-57.593068
20	-58.049632
22	-59.054312
24	-60.149488
26	-61.491312
28	-62.379480
30	-63.268168

Cuadro A.30: Relación RSSI Medio/Potencia - Interior - 2 Antenas

Distance Power	0	1	2	3	4	5	6	7
14	NaN	-56.180488	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
16	-59.707182	-55.978637	-59.747253	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
18	-58.546166	-56.292940	-58.682594	-61.065341	NaN	NaN	NaN	NaN
20	-58.414729	-56.704368	-58.303237	-60.429142	-63.950000	-61.798201	-63.750000	NaN
22	-58.806425	-57.472994	-59.758806	-60.958498	-62.713351	-61.137597	-62.595238	NaN
24	-59.560979	-57.993393	-60.872739	-61.418116	-63.868479	-61.833016	-63.347015	-64.631902
26	-60.294608	-58.800329	-61.841503	-62.159070	-64.236058	-64.077608	-65.169039	-64.369565
28	-60.926845	-59.079921	-62.376586	-63.054362	-64.861065	-64.396426	-65.146657	-66.389397
30	-61.503522	-59.622730	-63.005375	-63.928862	-65.992077	-65.033118	-65.886853	-67.318410

Cuadro A.31: Relación RSSI Medio/Potencia - Desglose por Distancia - Interior - 2 Antenas

Used Tags Power	1	2	5	10	20	30
14	-55.561620	-56.306011	NaN	NaN	NaN	-57.212838
16	-56.813830	-56.186567	-57.905405	NaN	-58.403061	-57.224747
18	-57.719602	-57.744353	-55.935652	-56.743719	-58.150905	-58.373478
20	-58.617862	-58.392608	-56.556075	-57.324142	-58.854631	-57.861923
22	-58.968259	-59.438679	-58.772420	-58.816256	-59.888568	-58.444636
24	-59.374518	-59.620335	-59.848925	-60.172109	-61.728280	-60.093579
26	-59.701962	-60.543160	-61.615599	-61.459740	-62.687853	-61.652312
28	-60.524212	-61.791016	-61.736796	-62.422149	-63.769129	-62.589125
30	-60.338277	-61.739469	-62.537624	-63.697851	-64.682884	-63.734409

Cuadro A.32: Relación RSSI Medio/Potencia - Desglose por Etiquetas - Interior - 2 Antenas

Used Tags	RSSI
1	-59.344953
2	-60.231007
5	-60.979824
10	-61.766289
20	-62.960310
30	-61.681366

Cuadro A.33: Relación RSSI Medio/Etiquetas - Interior - 2 Antenas

Distance Used Tags	0	1	2	3	4	5	6	7
1	-57.831721	-54.112847	-57.892105	-60.380966	-62.780843	-62.164553	-63.140962	-68.686983
2	-58.970900	-56.570781	-59.611385	-60.635400	-64.130686	-63.123134	-64.153076	-68.454780
5	-60.026906	-57.275651	-60.994307	-62.623305	-65.812972	-63.266274	-66.606459	-63.665023
10	-60.978339	-58.997806	-62.690645	-63.563738	-64.089062	-63.970062	-65.402359	-67.138514
20	-61.421948	-60.169717	-64.259347	-65.661820	-66.336375	-66.371005	-66.532959	-69.908046
30	-59.705622	-58.837594	-63.580063	-63.595311	-66.102750	-64.815344	-65.710393	-70.883838

Cuadro A.34: Relación RSSI Medio/Etiquetas - Desglose por Distancia - Interior - 2 Antenas

Power Used Tags	14	16	18	20	22	24	26	28	30
1	-55.561620	-56.813830	-57.719602	-58.617862	-58.968259	-59.374518	-59.701962	-60.524212	-60.338277
2	-56.306011	-56.186567	-57.744353	-58.392608	-59.438679	-59.620335	-60.543160	-61.791016	-61.739469
5	NaN	-57.905405	-55.935652	-56.556075	-58.772420	-59.848925	-61.615599	-61.736796	-62.537624
10	NaN	NaN	-56.743719	-57.324142	-58.816256	-60.172109	-61.459740	-62.422149	-63.697851
20	NaN	-58.403061	-58.150905	-58.854631	-59.888568	-61.728280	-62.687853	-63.769129	-64.682884
30	-57.212838	-57.224747	-58.373478	-57.861923	-58.444636	-60.093579	-61.652312	-62.589125	-63.734409

Cuadro A.35: Relación RSSI Medio/Etiquetas - Desglose por Potencias - Interior - 2 Antenas

	0
Distance	
0	0.983333
1	0.994444
2	0.975000
3	0.858333
4	0.841667
5	0.702778
6	0.633333
7	0.458333

Cuadro A.36: Relación Ratio Etiquetas leídas/Distancia - Interior - 2 Antenas

Used Tags Distance	1	2	5	10	20	30
0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.90	1.000000
1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.00	0.966667
2	1.0	1.0	1.0	1.0	0.95	0.900000
3	1.0	1.0	1.0	0.8	0.65	0.700000
4	1.0	1.0	0.8	1.0	0.65	0.600000
5	1.0	0.5	0.8	0.6	0.65	0.666667
6	1.0	1.0	0.6	0.4	0.40	0.400000
7	1.0	0.5	0.8	0.3	0.05	0.100000

Cuadro A.37: Relación Ratio Etiquetas leídas/Distancia - Desglose por Etiquetas - Interior - 2 Antenas

Power Distance	14	16	18	20	22	24	26	28	30
0	0.000000	0.1250	0.444444	0.95	1.000000	1.291667	1.269231	1.285714	1.233333
1	0.142857	0.2500	0.611111	0.85	1.181818	1.375000	1.423077	1.321429	1.233333
2	0.000000	0.0625	0.055556	0.05	0.318182	0.708333	1.000000	1.142857	1.233333
3	0.000000	0.0000	0.055556	0.05	0.181818	0.375000	0.615385	0.892857	1.100000
4	0.000000	0.0000	0.000000	0.05	0.045455	0.208333	0.423077	0.857143	0.966667
5	0.000000	0.0000	0.000000	0.05	0.136364	0.250000	0.461538	0.678571	0.966667
6	0.000000	0.0000	0.000000	0.05	0.045455	0.041667	0.230769	0.500000	0.666667
7	0.000000	0.0000	0.000000	0.00	0.000000	0.041667	0.076923	0.178571	0.333333

Cuadro A.38: Rel. Ratio Etiq. leídas/Distancia - Desglose por Potencias - Interior - 2 Antenas

	0
Power	
14	0.255556
16	0.302778
18	0.413889
20	0.652778
22	0.800000
24	0.922222
26	0.986111
28	1.000000
30	1.000000

Cuadro A.39: Relación Ratio Etiquetas leídas/Potencia - Interior - 2 Antenas

Used Tags	1	2	5	10	20	30
Power						
14	1.0	0.5	0.0	0.0	0.00	0.033333
16	1.0	0.5	0.2	0.0	0.05	0.066667
18	1.0	0.5	0.4	0.2	0.15	0.233333
20	1.0	1.0	0.4	0.5	0.45	0.566667
22	1.0	1.0	0.8	0.8	0.60	0.600000
24	1.0	1.0	1.0	0.8	0.90	0.833333
26	1.0	1.0	1.0	1.0	0.95	0.966667
28	1.0	1.0	1.0	1.0	1.00	1.000000
30	1.0	1.0	1.0	1.0	1.00	1.000000

Cuadro A.40: Relación Ratio Etiquetas leídas/Potencia - Desglose por Etiquetas - Interior - 2 Antenas

EPC	
Used Tags	
1	1.0
2	1.0
5	1.0
10	1.0
20	1.0
30	1.0

Cuadro A.41: Rel. Ratio Etiquetas leídas/Etiquetas - Interior - 2 Antenas

Power Used Tags	14	16	18	20	22	24	26	28	30
1	0.071429	0.0625	0.055556	0.05	0.045455	0.041667	0.038462	0.035714	0.033333
2	0.071429	0.0625	0.055556	0.10	0.090909	0.083333	0.076923	0.071429	0.066667
5	0.000000	0.0625	0.111111	0.10	0.181818	0.208333	0.192308	0.178571	0.166667
10	0.000000	0.0000	0.111111	0.25	0.363636	0.333333	0.384615	0.357143	0.333333
20	0.000000	0.0625	0.166667	0.45	0.545455	0.750000	0.730769	0.714286	0.666667
30	0.071429	0.1250	0.388889	0.85	0.818182	1.041667	1.115385	1.071429	1.000000

Cuadro A.42: Rel. Ratio Etiquetas leídas/Etiquetas - Desg. por Potencia - Interior - 2 Antenas

Distance Used Tags	0	1	2	3	4	5	6	7
1	1.0	1.000000	1.00	1.00	1.00	1.000000	1.0	1.00
2	1.0	1.000000	1.00	1.00	1.00	0.500000	1.0	0.50
5	1.0	1.000000	1.00	1.00	0.80	0.800000	0.6	0.80
10	1.0	1.000000	1.00	0.80	1.00	0.600000	0.4	0.30
20	0.9	1.000000	0.95	0.65	0.65	0.650000	0.4	0.05
30	1.0	0.966667	0.90	0.70	0.60	0.666667	0.4	0.10

Cuadro A.43: Rel. Ratio Etiquetas leídas/Etiquetas - Desg. por Distancia - Interior - 2 Antenas

Delta	
Distance	
0	0.123965
1	0.110220
2	0.104998
3	0.092761
4	0.112728
5	0.099554
6	0.084452
7	0.063133

Cuadro A.44: Rel. Tiempo entre lecturas Medio/Distancia - Interior - 2 Antenas

Power	14	16	18	20	22	24	26	28	30
Distance									
0	NaN	0.161741	0.077362	0.113224	0.111391	0.131505	0.122416	0.133503	0.134403
1	0.048302	0.056908	0.064943	0.083991	0.101566	0.122794	0.127239	0.122852	0.124411
2	NaN	0.106463	0.034311	0.034123	0.044236	0.071747	0.117133	0.119419	0.136548
3	NaN	NaN	0.111130	0.039626	0.058512	0.057129	0.080220	0.102341	0.125488
4	NaN	NaN	NaN	0.310176	0.052420	0.055058	0.085609	0.119925	0.147466
5	NaN	NaN	NaN	0.050133	0.038664	0.064528	0.084427	0.101971	0.133616
6	NaN	NaN	NaN	0.055135	0.049489	0.049538	0.063429	0.086678	0.103523
7	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	0.060922	0.085556	0.045204	0.073799

Cuadro A.45: Rel. Tiempo entre lecturas Medio/Distancia - Desg. por Potencia - Interior - 2 Antenas

Used Tags	1	2	5	10	20	30
Distance						
0	0.038015	0.047542	0.073881	0.113751	0.145118	0.203849
1	0.034820	0.041165	0.060330	0.089428	0.148594	0.182080
2	0.038127	0.041594	0.059324	0.095625	0.160168	0.203379
3	0.040795	0.042950	0.069399	0.089606	0.129894	0.168035
4	0.045153	0.047893	0.111174	0.104321	0.147011	0.184143
5	0.039790	0.044046	0.056529	0.090029	0.142091	0.206292
6	0.041417	0.049806	0.060255	0.091003	0.104988	0.141026
7	0.040566	0.050648	0.062199	0.097021	0.056702	0.136214

Cuadro A.46: Rel. Tiempo entre lecturas Medio/Distancia - Desg. por Etiquetas - Interior - 2 Antenas

	Delta
Power	
14	0.048302
16	0.077386
18	0.066449
20	0.084824
22	0.086172
24	0.097186
26	0.106475
28	0.112809
30	0.127059

Cuadro A.47: Rel. Tiempo entre lecturas Medio/Potencia - Interior - 2 Antenas

Distance	0	1	2	3	4	5	6	7
Power								
14	NaN	0.048302	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
16	0.161741	0.056908	0.106463	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
18	0.077362	0.064943	0.034311	0.111130	NaN	NaN	NaN	NaN
20	0.113224	0.083991	0.034123	0.039626	0.310176	0.050133	0.055135	NaN
22	0.111391	0.101566	0.044236	0.058512	0.052420	0.038664	0.049489	NaN
24	0.131505	0.122794	0.071747	0.057129	0.055058	0.064528	0.049538	0.060922
26	0.122416	0.127239	0.117133	0.080220	0.085609	0.084427	0.063429	0.085556
28	0.133503	0.122852	0.119419	0.102341	0.119925	0.101971	0.086678	0.045204
30	0.134403	0.124411	0.136548	0.125488	0.147466	0.133616	0.103523	0.073799

Cuadro A.48: Rel. Tiempo entre lecturas Medio/Potencia - Desg. por Distancia - Interior - 2 Antenas

Used Tags Power	1	2	5	10	20	30
14	0.034954	0.054156	NaN	NaN	NaN	0.066752
16	0.062234	0.058255	0.270035	NaN	0.101157	0.098842
18	0.041411	0.040734	0.051347	0.100200	0.080359	0.126845
20	0.042839	0.048386	0.052982	0.076714	0.138780	0.158514
22	0.040447	0.040119	0.065594	0.092855	0.127863	0.156777
24	0.038622	0.046865	0.052598	0.097405	0.144817	0.174129
26	0.034808	0.044609	0.077830	0.087359	0.129950	0.183690
28	0.036280	0.041880	0.062305	0.097680	0.146926	0.196430
30	0.037384	0.045359	0.070564	0.109230	0.158100	0.213281

Cuadro A.49: Rel. Tiempo entre lecturas Medio/Potencia - Desg. por Etiquetas - Interior - 2 Antenas

Used Tags	Delta
1	0.039105
2	0.044421
5	0.065671
10	0.097537
20	0.143144
30	0.187581

Cuadro A.50: Rel. Tiempo entre lecturas Medio/Etiquetas - Interior - 2 Antenas

Distance Used Tags	0	1	2	3	4	5	6	7
1	0.038015	0.034820	0.038127	0.040795	0.045153	0.039790	0.041417	0.040566
2	0.047542	0.041165	0.041594	0.042950	0.047893	0.044046	0.049806	0.050648
5	0.073881	0.060330	0.059324	0.069399	0.111174	0.056529	0.060255	0.062199
10	0.113751	0.089428	0.095625	0.089606	0.104321	0.090029	0.091003	0.097021
20	0.145118	0.148594	0.160168	0.129894	0.147011	0.142091	0.104988	0.056702
30	0.203849	0.182080	0.203379	0.168035	0.184143	0.206292	0.141026	0.136214

Cuadro A.51: Rel. Tiempo entre lecturas Medio/Etiquetas - Desg. por Distancia - Interior - 2 Antenas

Power Used Tags	14	16	18	20	22	24	26	28	30
1	0.034954	0.062234	0.041411	0.042839	0.040447	0.038622	0.034808	0.036280	0.037384
2	0.054156	0.058255	0.040734	0.048386	0.040119	0.046865	0.044609	0.041880	0.045359
5	NaN	0.270035	0.051347	0.052982	0.065594	0.052598	0.077830	0.062305	0.070564
10	NaN	NaN	0.100200	0.076714	0.092855	0.097405	0.087359	0.097680	0.109230
20	NaN	0.101157	0.080359	0.138780	0.127863	0.144817	0.129950	0.146926	0.158100
30	0.066752	0.098842	0.126845	0.158514	0.156777	0.174129	0.183690	0.196430	0.213281

Cuadro A.52: Rel. Tiempo entre lecturas Medio/Etiquetas - Desg. por Potencia - Interior - 2 Antenas

Distance	RSSI
0	-57.878488
1	-58.382845
2	-58.673816
3	-60.463608
4	-60.381837
5	-62.951872
6	-63.788699
7	-61.374816

Cuadro A.53: Relación RSSI Medio/Distancia - Exterior - 1 Antena

Power Distance	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
0	-53.268797	-53.713950	-53.781285	-54.633285	-55.831342	-57.002985	-57.864583	-58.807033	-59.187191	-59.536078
1	NaN	-56.938406	-55.782493	-56.520777	-56.935717	-57.384704	-57.778161	-58.707072	-59.299374	-59.704893
2	NaN	NaN	-57.293243	-57.617668	-57.542603	-57.756082	-57.779050	-58.291929	-59.458753	-60.198420
3	NaN	NaN	-58.281437	-56.905325	-58.920608	-58.761825	-58.701852	-60.222866	-61.372144	-62.156700
4	NaN	NaN	-58.482036	-57.684739	-57.637037	-58.641090	-58.708727	-59.714115	-61.269297	-62.513778
5	NaN	NaN	NaN	NaN	-59.831343	-60.765244	-61.836713	-62.661174	-63.162193	-63.883272
6	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	-63.338089	-63.226494	-63.600645	-64.509767
7	NaN	NaN	NaN	-59.933908	-58.414671	-57.999002	-59.256566	-60.749552	-61.946716	-62.916945

Cuadro A.54: Relación RSSI Medio/Distancia - Desglose por Potencia (dBm) - Exterior - 1 Antena

Used Tags	1	2	5	10	20	30
Distance						
0	-51.291386	-55.699515	-58.152078	-59.667866	-60.723514	-58.348794
1	-54.517137	-57.404309	-58.423077	-59.545615	-59.931547	-58.338378
2	-55.968726	-57.034181	-57.179694	-60.535645	-60.247529	-59.439844
3	-56.148394	-61.273721	-59.292127	-61.639403	-62.657830	-60.970740
4	-55.901403	-59.146868	-59.863542	-60.236300	-63.426134	-62.699255
5	-59.110775	-62.830357	-62.671790	-63.492063	-66.098475	-63.855660
6	-62.970297	-64.807531	NaN	-63.453136	-65.311930	-63.107692
7	-57.805427	NaN	-67.254569	-57.952666	-64.004256	-63.114524

Cuadro A.55: Relación RSSI Medio/Distancia - Desglose por Etiquetas - Exterior - 1 Antena

	RSSI
Power	
12	-53.268797
14	-54.287371
16	-55.590978
18	-56.567324
20	-57.157075
22	-57.817779
24	-58.577354
26	-59.847291
28	-60.711809
30	-61.573295

Cuadro A.56: Relación RSSI Medio/Potencia - Exterior - 1 Antena

Distance	0	1	2	3	4	5	6	7
Power								
12	-53.268797	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
14	-53.713950	-56.938406	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
16	-53.781285	-55.782493	-57.293243	-58.281437	-58.482036	NaN	NaN	NaN
18	-54.633285	-56.520777	-57.617668	-56.905325	-57.684739	NaN	NaN	-59.933908
20	-55.831342	-56.935717	-57.542603	-58.920608	-57.637037	-59.831343	NaN	-58.414671
22	-57.002985	-57.384704	-57.756082	-58.761825	-58.641090	-60.765244	NaN	-57.999002
24	-57.864583	-57.778161	-57.779050	-58.701852	-58.708727	-61.836713	-63.338089	-59.256566
26	-58.807033	-58.707072	-58.291929	-60.222866	-59.714115	-62.661174	-63.226494	-60.749552
28	-59.187191	-59.299374	-59.458753	-61.372144	-61.269297	-63.162193	-63.600645	-61.946716
30	-59.536078	-59.704893	-60.198420	-62.156700	-62.513778	-63.883272	-64.509767	-62.916945

Cuadro A.57: Relación RSSI Medio/Potencia - Desglose por Distancia - Exterior - 1 Antena

Used Tags Power	1	2	5	10	20	30
12	-53.268797	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
14	-53.798715	-55.025890	NaN	NaN	NaN	NaN
16	-55.742158	-55.250572	NaN	NaN	NaN	-55.387500
18	-55.756851	-56.421754	-58.238318	NaN	-57.720096	-56.768007
20	-56.229158	-57.194444	-57.303725	-57.062787	-57.405753	-57.961314
22	-55.890068	-57.570846	-57.136414	-57.969380	-59.704463	-58.459787
24	-56.616004	-57.885680	-57.626481	-58.834302	-60.135961	-59.209774
26	-56.299627	-59.243436	-58.818940	-60.406770	-61.409040	-60.486019
28	-56.001150	-59.682949	-60.011075	-60.996355	-62.558519	-61.301177
30	-55.829368	-60.803072	-60.693858	-62.067145	-63.384183	-61.953161

Cuadro A.58: Relación RSSI Medio/Potencia - Desglose por Etiquetas - Exterior - 1 Antena

Used Tags	RSSI
1	-55.986965
2	-58.712793
5	-59.040663
10	-60.407068
20	-61.784396
30	-60.345039

Cuadro A.59: Relación RSSI Medio/Etiquetas - Exterior - 1 Antena

Distance Used Tags	0	1	2	3	4	5	6	7
1	-51.291386	-54.517137	-55.968726	-56.148394	-55.901403	-59.110775	-62.970297	-57.805427
2	-55.699515	-57.404309	-57.034181	-61.273721	-59.146868	-62.830357	-64.807531	NaN
5	-58.152078	-58.423077	-57.179694	-59.292127	-59.863542	-62.671790	NaN	-67.254569
10	-59.667866	-59.545615	-60.535645	-61.639403	-60.236300	-63.492063	-63.453136	-57.952666
20	-60.723514	-59.931547	-60.247529	-62.657830	-63.426134	-66.098475	-65.311930	-64.004256
30	-58.348794	-58.338378	-59.439844	-60.970740	-62.699255	-63.855660	-63.107692	-63.114524

Cuadro A.60: Relación RSSI Medio/Etiquetas - Desglose por Distancia - Exterior - 1 Antena

Power Used Tags	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
1	-53.268797	-53.798715	-55.742158	-55.756851	-56.229158	-55.890068	-56.616004	-56.299627	-56.001150	-55.829368
2	NaN	-55.025890	-55.250572	-56.421754	-57.194444	-57.570846	-57.885680	-59.243436	-59.682949	-60.803072
5	NaN	NaN	NaN	-58.238318	-57.303725	-57.136414	-57.626481	-58.818940	-60.011075	-60.693858
10	NaN	NaN	NaN	NaN	-57.062787	-57.969380	-58.834302	-60.406770	-60.996355	-62.067145
20	NaN	NaN	NaN	-57.720096	-57.405753	-59.704463	-60.135961	-61.409040	-62.558519	-63.384183
30	NaN	NaN	-55.387500	-56.768007	-57.961314	-58.459787	-59.209774	-60.486019	-61.301177	-61.953161

Cuadro A.61: Relación RSSI Medio/Etiquetas - Desglose por Potencias - Exterior - 1 Antena

	0
Distance	
0	0.919444
1	0.944444
2	0.905556
3	0.844444
4	0.822222
5	0.672222
6	0.475000
7	0.500000

Cuadro A.62: Relación Ratio Etiquetas leídas/Distancia - Exterior - 1 Antena

Used Tags Distance	1	2	5	10	20	30
0	1.0	1.0	1.0	0.8	0.85	0.866667
1	1.0	1.0	1.0	1.0	0.90	0.766667
2	1.0	1.0	1.0	0.9	0.80	0.733333
3	1.0	1.0	1.0	0.9	0.60	0.566667
4	1.0	1.0	0.8	0.8	0.70	0.633333
5	1.0	1.0	0.4	0.6	0.50	0.533333
6	1.0	1.0	0.0	0.3	0.25	0.300000
7	1.0	0.0	0.4	0.5	0.50	0.600000

Cuadro A.63: Relación Ratio Etiquetas leídas/Distancia - Desglose por Etiquetas - Exterior - 1 Antena

Power Distance	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
0	0.083333	0.071429	0.1875	0.500000	0.80	0.954545	1.083333	1.192308	1.142857	1.133333
1	0.000000	0.071429	0.0625	0.277778	0.65	0.863636	1.166667	1.269231	1.214286	1.200000
2	0.000000	0.000000	0.0625	0.166667	0.40	0.636364	0.708333	0.961538	1.107143	1.066667
3	0.000000	0.000000	0.0625	0.055556	0.10	0.227273	0.375000	0.576923	0.785714	0.933333
4	0.000000	0.000000	0.0625	0.055556	0.05	0.181818	0.291667	0.576923	0.892857	1.000000
5	0.000000	0.000000	0.0000	0.000000	0.05	0.045455	0.166667	0.346154	0.642857	0.733333
6	0.000000	0.000000	0.0000	0.000000	0.00	0.000000	0.125000	0.153846	0.285714	0.400000
7	0.000000	0.000000	0.0000	0.055556	0.05	0.090909	0.291667	0.461538	0.714286	0.766667

Cuadro A.64: Rel. Ratio Etiq. leídas/Distancia - Desglose por Potencias - Exterior - 1 Antena

	0
Power	
12	0.166667
14	0.250000
16	0.261111
18	0.375000
20	0.669444
22	0.833333
24	0.891667
26	0.966667
28	0.991667
30	1.000000

Cuadro A.65: Relación Ratio Etiquetas leídas/Potencia - Exterior - 1 Antena

Used Tags	1	2	5	10	20	30
Power						
12	1.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.000000
14	1.0	0.5	0.0	0.0	0.00	0.000000
16	1.0	0.5	0.0	0.0	0.00	0.066667
18	1.0	0.5	0.4	0.0	0.05	0.300000
20	1.0	1.0	0.8	0.4	0.25	0.566667
22	1.0	1.0	1.0	0.8	0.50	0.700000
24	1.0	1.0	1.0	0.8	0.75	0.800000
26	1.0	1.0	1.0	0.9	0.90	1.000000
28	1.0	1.0	1.0	1.0	0.95	1.000000
30	1.0	1.0	1.0	1.0	1.00	1.000000

Cuadro A.66: Relación Ratio Etiquetas leídas/Potencia - Desglose por Etiquetas - Exterior - 1 Antena

EPC	
Used Tags	
1	1.0
2	1.0
5	1.0
10	1.0
20	1.0
30	1.0

Cuadro A.67: Rel. Ratio Etiquetas leídas/Etiquetas - Exterior - 1 Antena

Power Used Tags	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
1	0.083333	0.071429	0.0625	0.055556	0.05	0.045455	0.041667	0.038462	0.035714	0.033333
2	0.000000	0.071429	0.0625	0.055556	0.10	0.090909	0.083333	0.076923	0.071429	0.066667
5	0.000000	0.000000	0.0000	0.111111	0.20	0.227273	0.208333	0.192308	0.178571	0.166667
10	0.000000	0.000000	0.0000	0.000000	0.20	0.363636	0.333333	0.346154	0.357143	0.333333
20	0.000000	0.000000	0.0000	0.055556	0.25	0.454545	0.625000	0.692308	0.678571	0.666667
30	0.000000	0.000000	0.1250	0.500000	0.85	0.954545	1.000000	1.153846	1.071429	1.000000

Cuadro A.68: Rel. Ratio Etiquetas leídas/Etiquetas - Desg. por Potencia - Exterior - 1 Antena

Distance Used Tags	0	1	2	3	4	5	6	7
1	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.00	1.0
2	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.00	0.0
5	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	0.800000	0.400000	0.00	0.4
10	0.800000	1.000000	0.900000	0.900000	0.800000	0.600000	0.30	0.5
20	0.850000	0.900000	0.800000	0.600000	0.700000	0.500000	0.25	0.5
30	0.866667	0.766667	0.733333	0.566667	0.633333	0.533333	0.30	0.6

Cuadro A.69: Rel. Ratio Etiquetas leídas/Etiquetas - Desg. por Distancia - Exterior - 1 Antena

	Delta
Distance	
0	0.087731
1	0.089865
2	0.075455
3	0.069580
4	0.070612
5	0.068612
6	0.054100
7	0.081044

Cuadro A.70: Rel. Tiempo entre lecturas Medio/Distancia - Exterior - 1 Antena

Power Distance	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
0	0.037616	0.031052	0.043548	0.064836	0.072205	0.076436	0.085438	0.099784	0.099069	0.105087
1	NaN	0.071937	0.052102	0.039855	0.067616	0.066426	0.089708	0.113169	0.099545	0.104279
2	NaN	NaN	0.053452	0.035263	0.044567	0.052965	0.063886	0.081546	0.094866	0.096620
3	NaN	NaN	0.058873	0.030062	0.033540	0.033149	0.048761	0.065377	0.086803	0.095111
4	NaN	NaN	0.058843	0.039583	0.029307	0.030049	0.035193	0.064488	0.083292	0.111274
5	NaN	NaN	NaN	NaN	0.029727	0.039635	0.043202	0.049013	0.081658	0.087002
6	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	0.048937	0.038842	0.051975	0.069152
7	NaN	NaN	NaN	0.057070	0.029716	0.039685	0.048867	0.078982	0.102090	0.090592

Cuadro A.71: Rel. Tiempo entre lecturas Medio/Distancia - Desg. por Potencia - Exterior - 1 Antena

Used Tags Distance	1	2	5	10	20	30
0	0.030428	0.032759	0.054947	0.068634	0.116143	0.146227
1	0.031966	0.036353	0.054280	0.077690	0.121911	0.153409
2	0.030141	0.038192	0.045447	0.080288	0.092457	0.120780
3	0.031954	0.037195	0.047561	0.073396	0.095969	0.099307
4	0.031862	0.037080	0.044825	0.056899	0.101677	0.136379
5	0.030072	0.040574	0.041778	0.059413	0.113787	0.117604
6	0.030427	0.033322	NaN	0.042672	0.082274	0.068261
7	0.032334	NaN	0.051090	0.049400	0.091444	0.140675

Cuadro A.72: Rel. Tiempo entre lecturas Medio/Distancia - Desg. por Etiquetas - Exterior - 1 Antena

	Delta
Power	
12	0.037616
14	0.038298
16	0.049594
18	0.045038
20	0.054979
22	0.055841
24	0.065871
26	0.079629
28	0.090361
30	0.096838

Cuadro A.73: Rel. Tiempo entre lecturas Medio/Potencia - Exterior - 1 Antena

Distance	0	1	2	3	4	5	6	7
Power								
12	0.037616	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
14	0.031052	0.071937	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
16	0.043548	0.052102	0.053452	0.058873	0.058843	NaN	NaN	NaN
18	0.064836	0.039855	0.035263	0.030062	0.039583	NaN	NaN	0.057070
20	0.072205	0.067616	0.044567	0.033540	0.029307	0.029727	NaN	0.029716
22	0.076436	0.066426	0.052965	0.033149	0.030049	0.039635	NaN	0.039685
24	0.085438	0.089708	0.063886	0.048761	0.035193	0.043202	0.048937	0.048867
26	0.099784	0.113169	0.081546	0.065377	0.064488	0.049013	0.038842	0.078982
28	0.099069	0.099545	0.094866	0.086803	0.083292	0.081658	0.051975	0.102090
30	0.105087	0.104279	0.096620	0.095111	0.111274	0.087002	0.069152	0.090592

Cuadro A.74: Rel. Tiempo entre lecturas Medio/Potencia - Desg. por Distancia - Exterior - 1 Antena

Used Tags	1	2	5	10	20	30
12	0.037616	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
14	0.042328	0.032215	NaN	NaN	NaN	NaN
16	0.037744	0.067403	NaN	NaN	NaN	0.081946
18	0.032217	0.033980	0.068681	NaN	0.031481	0.074644
20	0.029388	0.035495	0.057034	0.055563	0.045292	0.098321
22	0.029354	0.034061	0.044011	0.052737	0.081781	0.081767
24	0.029786	0.033238	0.041233	0.054428	0.085563	0.110442
26	0.030011	0.035607	0.049503	0.066688	0.099439	0.132259
28	0.030423	0.036768	0.048189	0.069765	0.123884	0.146244
30	0.031135	0.038305	0.054590	0.078147	0.119236	0.155168

Cuadro A.75: Rel. Tiempo entre lecturas Medio/Potencia - Desg. por Etiquetas - Exterior - 1 Antena

Used Tags	Delta
1	0.031176
2	0.036419
5	0.049388
10	0.066797
20	0.105031
30	0.128618

Cuadro A.76: Rel. Tiempo entre lecturas Medio/Etiquetas - Exterior - 1 Antena

Distance	0	1	2	3	4	5	6	7
1	0.030428	0.031966	0.030141	0.031954	0.031862	0.030072	0.030427	0.032334
2	0.032759	0.036353	0.038192	0.037195	0.037080	0.040574	0.033322	NaN
5	0.054947	0.054280	0.045447	0.047561	0.044825	0.041778	NaN	0.051090
10	0.068634	0.077690	0.080288	0.073396	0.056899	0.059413	0.042672	0.049400
20	0.116143	0.121911	0.092457	0.095969	0.101677	0.113787	0.082274	0.091444
30	0.146227	0.153409	0.120780	0.099307	0.136379	0.117604	0.068261	0.140675

Cuadro A.77: Rel. Tiempo entre lecturas Medio/Etiquetas - Desg. por Distancia - Exterior - 1 Antena

Power Used Tags	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
1	0.037616	0.042328	0.037744	0.032217	0.029388	0.029354	0.029786	0.030011	0.030423	0.031135
2	NaN	0.032215	0.067403	0.033980	0.035495	0.034061	0.033238	0.035607	0.036768	0.038305
5	NaN	NaN	NaN	0.068681	0.057034	0.044011	0.041233	0.049503	0.048189	0.054590
10	NaN	NaN	NaN	NaN	0.055563	0.052737	0.054428	0.066688	0.069765	0.078147
20	NaN	NaN	NaN	0.031481	0.045292	0.081781	0.085563	0.099439	0.123884	0.119236
30	NaN	NaN	0.081946	0.074644	0.098321	0.081767	0.110442	0.132259	0.146244	0.155168

Cuadro A.78: Rel. Tiempo entre lecturas Medio/Etiquetas - Desg. por Potencia - Exterior - 1 Antena

	RSSI
Distance	
0	-57.460067
1	-59.408605
2	-61.450492
3	-59.931841
4	-62.742624
5	-64.293855
6	-66.263343
7	-59.675464

Cuadro A.79: Relación RSSI Medio/Distancia - Exterior - 2 Antenas

Power Distance	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
0	-52.061983	-52.690418	-51.949511	-54.124196	-54.539788	-55.834962	-56.614675	-57.939913	-58.083431	-58.722569	-58.976764
1	NaN	NaN	-55.500000	-56.771390	-56.710275	-57.727242	-58.736975	-59.209598	-59.226911	-60.105836	-60.572633
2	NaN	NaN	NaN	NaN	-59.691489	-59.646444	-60.066584	-60.781978	-61.144946	-61.870142	-62.344633
3	NaN	NaN	-55.626761	-56.367347	-56.286157	-57.540376	-58.803129	-59.761261	-59.567166	-60.513244	-61.596504
4	NaN	NaN	NaN	NaN	-60.188172	-59.744318	-61.063333	-61.199336	-61.908505	-62.971442	-63.902361
5	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	-62.251908	-62.542763	-62.004808	-64.548893	-65.364159
6	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	-65.243094	-65.855801	-66.024335	-66.729149
7	NaN	NaN	-52.493671	-53.801115	-53.394737	-55.612381	-57.288498	-59.238714	-59.368690	-60.574607	-61.335537

Cuadro A.80: Relación RSSI Medio/Distancia - Desglose por Potencia (dBm) - Exterior - 2 Antenas

Used Tags Distance	1	2	5	10	20	30
0	-49.699362	-53.888991	-58.054320	-58.992232	-58.984288	-58.916855
1	-54.483676	-58.135388	-59.973946	-60.289424	-60.236615	-59.670487
2	-59.070513	-60.628788	-61.917835	-63.760880	-61.881535	-60.712675
3	-55.184806	-56.528118	-59.216852	-60.985106	-62.637249	-60.795181
4	-59.273652	-60.069807	-63.311741	-63.576483	-67.550299	-62.822727
5	-72.533333	NaN	NaN	NaN	-69.245416	-62.633623
6	-63.623848	-65.797619	-67.472810	-65.441637	-68.315242	-66.742163
7	-50.633758	-56.770947	-58.737192	-61.176442	-63.322010	-62.036473

Cuadro A.81: Relación RSSI Medio/Distancia - Desglose por Etiquetas - Exterior - 2 Antenas

Power	RSSI
10	-52.061983
12	-52.690418
14	-53.383721
16	-55.072887
18	-55.776154
20	-57.230160
22	-58.368395
24	-59.565391
26	-60.029009
28	-61.144167
30	-61.929575

Cuadro A.82: Relación RSSI Medio/Potencia - Exterior - 2 Antenas

Distance	0	1	2	3	4	5	6	7
10	-52.061983	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
12	-52.690418	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
14	-51.949511	-55.500000	NaN	-55.626761	NaN	NaN	NaN	-52.493671
16	-54.124196	-56.771390	NaN	-56.367347	NaN	NaN	NaN	-53.801115
18	-54.539788	-56.710275	-59.691489	-56.286157	-60.188172	NaN	NaN	-53.394737
20	-55.834962	-57.727242	-59.646444	-57.540376	-59.744318	NaN	NaN	-55.612381
22	-56.614675	-58.736975	-60.066584	-58.803129	-61.063333	-62.251908	NaN	-57.288498
24	-57.939913	-59.209598	-60.781978	-59.761261	-61.199336	-62.542763	-65.243094	-59.238714
26	-58.083431	-59.226911	-61.144946	-59.567166	-61.908505	-62.004808	-65.855801	-59.368690
28	-58.722569	-60.105836	-61.870142	-60.513244	-62.971442	-64.548893	-66.024335	-60.574607
30	-58.976764	-60.572633	-62.344633	-61.596504	-63.902361	-65.364159	-66.729149	-61.335537

Cuadro A.83: Relación RSSI Medio/Potencia - Desglose por Distancia - Exterior - 2 Antenas

Used Tags	1	2	5	10	20	30
10	-52.061983	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
12	-51.493802	-54.445455	NaN	NaN	NaN	NaN
14	-52.728111	-54.305461	NaN	NaN	-56.500000	-58.500000
16	-53.157303	-55.206827	NaN	NaN	-56.306616	-56.467456
18	-52.672014	-55.826767	-56.098592	-56.436047	-56.933251	-56.413551
20	-55.150572	-56.049559	-57.034281	-58.233645	-58.158133	-57.841933
22	-55.720930	-57.328073	-58.200827	-58.664565	-59.079374	-59.107946
24	-57.523669	-57.626560	-59.528155	-59.358435	-60.573365	-60.217469
26	-55.333517	-58.001516	-60.035334	-61.083030	-61.168980	-60.675242
28	-55.050647	-58.636347	-60.736980	-61.802591	-62.891555	-61.831956
30	-55.203714	-59.023507	-61.250889	-62.657919	-64.068165	-62.492690

Cuadro A.84: Relación RSSI Medio/Potencia - Desglose por Etiquetas - Exterior - 2 Antenas

Used Tags	RSSI
1	-54.906326
2	-57.754922
5	-60.253247
10	-61.187329
20	-61.823238
30	-60.976649

Cuadro A.85: Relación RSSI Medio/Etiquetas - Exterior - 2 Antenas

Distance	0	1	2	3	4	5	6	7
Used Tags								
1	-49.699362	-54.483676	-59.070513	-55.184806	-59.273652	-72.533333	-63.623848	-50.633758
2	-53.888991	-58.135388	-60.628788	-56.528118	-60.069807	NaN	-65.797619	-56.770947
5	-58.054320	-59.973946	-61.917835	-59.216852	-63.311741	NaN	-67.472810	-58.737192
10	-58.992232	-60.289424	-63.760880	-60.985106	-63.576483	NaN	-65.441637	-61.176442
20	-58.984288	-60.236615	-61.881535	-62.637249	-67.550299	-69.245416	-68.315242	-63.322010
30	-58.916855	-59.670487	-60.712675	-60.795181	-62.822727	-62.633623	-66.742163	-62.036473

Cuadro A.86: Relación RSSI Medio/Etiquetas - Desglose por Distancia - Exterior - 2 Antenas

Power	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
Used Tags											
1	-52.061983	-51.493802	-52.728111	-53.157303	-52.672014	-55.150572	-55.720930	-57.523669	-55.333517	-55.050647	-55.203714
2	NaN	-54.445455	-54.305461	-55.206827	-55.826767	-56.049559	-57.328073	-57.626560	-58.001516	-58.636347	-59.023507
5	NaN	NaN	NaN	NaN	-56.098592	-57.034281	-58.200827	-59.528155	-60.035334	-60.736980	-61.250889
10	NaN	NaN	NaN	NaN	-56.436047	-58.233645	-58.664565	-59.358435	-61.083030	-61.802591	-62.657919
20	NaN	NaN	-56.500000	-56.306616	-56.933251	-58.158133	-59.079374	-60.573365	-61.168980	-62.891555	-64.068165
30	NaN	NaN	-58.500000	-56.467456	-56.413551	-57.841933	-59.107946	-60.217469	-60.675242	-61.831956	-62.492690

Cuadro A.87: Relación RSSI Medio/Etiquetas - Desglose por Potencias - Exterior - 2 Antenas

	0
Distance	
0	0.933333
1	0.913889
2	0.905556
3	0.880556
4	0.750000
5	0.225000
6	0.480556
7	0.869444

Cuadro A.88: Relación Ratio Etiquetas leídas/Distancia - Exterior - 2 Antenas

Used Tags Distance	1	2	5	10	20	30
0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.80	0.800000
1	1.0	1.0	0.8	0.9	0.95	0.833333
2	1.0	1.0	0.8	0.9	0.90	0.833333
3	1.0	1.0	1.0	0.9	0.75	0.633333
4	1.0	1.0	1.0	0.7	0.40	0.400000
5	1.0	0.0	0.0	0.0	0.15	0.200000
6	1.0	0.5	0.4	0.4	0.35	0.233333
7	1.0	1.0	1.0	0.9	0.65	0.666667

Cuadro A.89: Relación Ratio Etiquetas leídas/Distancia - Desglose por Etiquetas - Exterior - 2 Antenas

Power Distance	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
0	0.1	0.166667	0.214286	0.375	0.500000	0.85	1.000000	1.083333	1.230769	1.178571	1.133333
1	0.0	0.000000	0.071429	0.250	0.388889	0.65	0.818182	1.125000	1.269231	1.250000	1.200000
2	0.0	0.000000	0.000000	0.000	0.166667	0.30	0.590909	1.041667	1.192308	1.214286	1.166667
3	0.0	0.000000	0.071429	0.125	0.166667	0.45	0.636364	0.958333	1.076923	1.142857	1.166667
4	0.0	0.000000	0.000000	0.000	0.055556	0.10	0.227273	0.416667	0.653846	0.821429	0.966667
5	0.0	0.000000	0.000000	0.000	0.000000	0.00	0.045455	0.083333	0.153846	0.214286	0.266667
6	0.0	0.000000	0.000000	0.000	0.000000	0.00	0.000000	0.125000	0.230769	0.392857	0.533333
7	0.0	0.000000	0.071429	0.125	0.166667	0.30	0.454545	0.666667	0.923077	1.035714	1.066667

Cuadro A.90: Rel. Ratio Etiq. leídas/Distancia - Desglose por Potencias - Exterior - 2 Antenas

	0
Power	
10	0.166667
12	0.250000
14	0.272222
16	0.380556
18	0.508333
20	0.688889
22	0.822222
24	0.936111
26	0.994444
28	1.000000
30	1.000000

Cuadro A.91: Relación Ratio Etiquetas leídas/Potencia - Exterior - 2 Antenas

Used Tags	1	2	5	10	20	30
Power						
10	1.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.000000
12	1.0	0.5	0.0	0.0	0.00	0.000000
14	1.0	0.5	0.0	0.0	0.10	0.033333
16	1.0	1.0	0.0	0.0	0.15	0.133333
18	1.0	1.0	0.4	0.2	0.25	0.200000
20	1.0	1.0	0.6	0.6	0.50	0.433333
22	1.0	1.0	1.0	0.7	0.60	0.633333
24	1.0	1.0	1.0	0.9	0.85	0.866667
26	1.0	1.0	1.0	1.0	1.00	0.966667
28	1.0	1.0	1.0	1.0	1.00	1.000000
30	1.0	1.0	1.0	1.0	1.00	1.000000

Cuadro A.92: Relación Ratio Etiquetas leídas/Potencia - Desglose por Etiquetas - Exterior - 2 Antenas

Used Tags	EPC
1	1.0
2	1.0
5	1.0
10	1.0
20	1.0
30	1.0

Cuadro A.93: Rel. Ratio Etiquetas leídas/Etiquetas - Exterior - 2 Antenas

Power Used Tags	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
1	0.1	0.083333	0.071429	0.0625	0.055556	0.05	0.045455	0.041667	0.038462	0.035714	0.033333
2	0.0	0.083333	0.071429	0.1250	0.111111	0.10	0.090909	0.083333	0.076923	0.071429	0.066667
5	0.0	0.000000	0.000000	0.0000	0.111111	0.15	0.227273	0.208333	0.192308	0.178571	0.166667
10	0.0	0.000000	0.000000	0.0000	0.111111	0.30	0.318182	0.375000	0.384615	0.357143	0.333333
20	0.0	0.000000	0.142857	0.1875	0.277778	0.50	0.545455	0.708333	0.769231	0.714286	0.666667
30	0.0	0.000000	0.071429	0.2500	0.333333	0.65	0.863636	1.083333	1.115385	1.071429	1.000000

Cuadro A.94: Rel. Ratio Etiquetas leídas/Etiquetas - Desg. por Potencia - Exterior - 2 Antenas

Distance Used Tags	0	1	2	3	4	5	6	7
1	1.0	1.000000	1.000000	1.000000	1.0	1.00	1.000000	1.000000
2	1.0	1.000000	1.000000	1.000000	1.0	0.00	0.500000	1.000000
5	1.0	0.800000	0.800000	1.000000	1.0	0.00	0.400000	1.000000
10	1.0	0.900000	0.900000	0.900000	0.7	0.00	0.400000	0.900000
20	0.8	0.950000	0.900000	0.750000	0.4	0.15	0.350000	0.650000
30	0.8	0.833333	0.833333	0.633333	0.4	0.20	0.233333	0.666667

Cuadro A.95: Rel. Ratio Etiquetas leídas/Etiquetas - Desg. por Distancia - Exterior - 2 Antenas

Distance	Delta
0	0.117088
1	0.124174
2	0.127798
3	0.098239
4	0.089659
5	0.079930
6	0.076213
7	0.102666

Cuadro A.96: Rel. Tiempo entre lecturas Medio/Distancia - Exterior - 2 Antenas

Power Distance	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
0	0.041065	0.048858	0.064193	0.088196	0.079064	0.129200	0.126109	0.154702	0.116313	0.114058	0.121799
1	NaN	NaN	0.079794	0.125010	0.115370	0.108280	0.118203	0.172188	0.119079	0.121241	0.120024
2	NaN	NaN	NaN	NaN	0.103901	0.109190	0.122127	0.150310	0.125918	0.122570	0.131601
3	NaN	NaN	0.068774	0.084535	0.083186	0.086668	0.092891	0.138613	0.073788	0.099832	0.112936
4	NaN	NaN	NaN	NaN	0.103424	0.073991	0.122682	0.098768	0.087447	0.078174	0.095810
5	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	0.074976	0.124483	0.093221	0.065162	0.083851
6	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	0.108844	0.056132	0.066242	0.091557
7	NaN	NaN	0.061916	0.073166	0.089340	0.074421	0.085003	0.133149	0.088937	0.102963	0.114894

Cuadro A.97: Rel. Tiempo entre lecturas Medio/Distancia - Desg. por Potencia - Exterior - 2 Antenas

Used Tags Distance	1	2	5	10	20	30
0	0.053415	0.062042	0.080171	0.103394	0.140644	0.171614
1	0.053799	0.058555	0.074219	0.094303	0.145637	0.191846
2	0.050863	0.056013	0.066057	0.109885	0.146906	0.193445
3	0.057552	0.058238	0.078710	0.093772	0.125478	0.130575
4	0.052541	0.061464	0.079990	0.081660	0.132565	0.113199
5	0.673974	NaN	NaN	NaN	0.066101	0.080584
6	0.045389	0.039572	0.060312	0.070688	0.123761	0.094732
7	0.056554	0.058809	0.073137	0.100146	0.123356	0.161964

Cuadro A.98: Rel. Tiempo entre lecturas Medio/Distancia - Desg. por Etiquetas - Exterior - 2 Antenas

	Delta
Power	
10	0.041065
12	0.048858
14	0.067246
16	0.092952
18	0.091824
20	0.107008
22	0.112291
24	0.146465
26	0.100813
28	0.103860
30	0.113595

Cuadro A.99: Rel. Tiempo entre lecturas Medio/Potencia - Exterior - 2 Antenas

Distance	0	1	2	3	4	5	6	7
Power								
10	0.041065	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
12	0.048858	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
14	0.064193	0.079794	NaN	0.068774	NaN	NaN	NaN	0.061916
16	0.088196	0.125010	NaN	0.084535	NaN	NaN	NaN	0.073166
18	0.079064	0.115370	0.103901	0.083186	0.103424	NaN	NaN	0.089340
20	0.129200	0.108280	0.109190	0.086668	0.073991	NaN	NaN	0.074421
22	0.126109	0.118203	0.122127	0.092891	0.122682	0.074976	NaN	0.085003
24	0.154702	0.172188	0.150310	0.138613	0.098768	0.124483	0.108844	0.133149
26	0.116313	0.119079	0.125918	0.073788	0.087447	0.093221	0.056132	0.088937
28	0.114058	0.121241	0.122570	0.099832	0.078174	0.065162	0.066242	0.102963
30	0.121799	0.120024	0.131601	0.112936	0.095810	0.083851	0.091557	0.114894

Cuadro A.100: Rel. Tiempo entre lecturas Medio/Potencia - Desg. por Distancia - Exterior - 2 Antenas

Used Tags Power	1	2	5	10	20	30
10	0.041065	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
12	0.041101	0.060257	NaN	NaN	NaN	NaN
14	0.067897	0.066349	NaN	NaN	0.047960	NaN
16	0.073114	0.079527	NaN	NaN	0.118404	0.114813
18	0.071474	0.079954	0.107940	0.075907	0.109162	0.103004
20	0.074704	0.076115	0.082215	0.122944	0.111451	0.143997
22	0.068600	0.073987	0.103129	0.100284	0.129787	0.142195
24	0.081936	0.087548	0.108785	0.123703	0.171557	0.200360
26	0.038432	0.045562	0.072038	0.084674	0.128180	0.150806
28	0.039195	0.046593	0.065691	0.085886	0.130088	0.153196
30	0.045758	0.045899	0.066350	0.103799	0.143809	0.159259

Cuadro A.101: Rel. Tiempo entre lecturas Medio/Potencia - Desg. por Etiquetas - Exterior - 2 Antenas

Used Tags	Delta
1	0.054333
2	0.058156
5	0.075102
10	0.096652
20	0.135547
30	0.155847

Cuadro A.102: Rel. Tiempo entre lecturas Medio/Etiquetas - Exterior - 2 Antenas

Distance Used Tags	0	1	2	3	4	5	6	7
1	0.053415	0.053799	0.050863	0.057552	0.052541	0.673974	0.045389	0.056554
2	0.062042	0.058555	0.056013	0.058238	0.061464	NaN	0.039572	0.058809
5	0.080171	0.074219	0.066057	0.078710	0.079990	NaN	0.060312	0.073137
10	0.103394	0.094303	0.109885	0.093772	0.081660	NaN	0.070688	0.100146
20	0.140644	0.145637	0.146906	0.125478	0.132565	0.066101	0.123761	0.123356
30	0.171614	0.191846	0.193445	0.130575	0.113199	0.080584	0.094732	0.161964

Cuadro A.103: Rel. Tiempo entre lecturas Medio/Etiquetas - Desg. por Distancia - Exterior - 2 Antenas

Power Used Tags	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
1	0.041065	0.041101	0.067897	0.073114	0.071474	0.074704	0.068600	0.081936	0.038432	0.039195	0.045758
2	NaN	0.060257	0.066349	0.079527	0.079954	0.076115	0.073987	0.087548	0.045562	0.046593	0.045899
5	NaN	NaN	NaN	NaN	0.107940	0.082215	0.103129	0.108785	0.072038	0.065691	0.066350
10	NaN	NaN	NaN	NaN	0.075907	0.122944	0.100284	0.123703	0.084674	0.085886	0.103799
20	NaN	NaN	0.047960	0.118404	0.109162	0.111451	0.129787	0.171557	0.128180	0.130088	0.143809
30	NaN	NaN	NaN	0.114813	0.103004	0.143997	0.142195	0.200360	0.150806	0.153196	0.159259

Cuadro A.104: Rel. Tiempo entre lecturas Medio/Etiquetas - Desg. por Potencia - Exterior - 2 Antenas

	EPC
Used Tags	
1	1.000000
2	1.000000
5	1.000000
10	1.000000
20	0.950000
30	0.866667

Cuadro A.105: Rel. Ratio Etiquetas leídas/Etiquetas - Etiq. Movimiento - Interior - 1 Antena

	EPC
Used Tags	
1	1.0
2	1.0
5	1.0
10	1.0
20	1.0
30	0.9

Cuadro A.106: Rel. Ratio Etiquetas leídas/Etiquetas - Etiq. Movimiento - Interior - 2 Antenas