

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS  
INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN**

**UNIVERSIDAD DE CANTABRIA**



***Trabajo Fin de Máster***

**Estudio para la implantación de  
infraestructura Wi-Fi en el parking público del  
Aeropuerto Seve Ballesteros – Santander.  
(On the design of a Wi-Fi network  
infrastructure for the public parking space at  
the Seve Ballesteros – Santander Airport).**

Para acceder al Título de

***Máster Universitario en Ingeniería de  
Telecomunicación***

Autor: Juan José Lavín Montes

Octubre – 2019

<b>TÍTULO</b>	<b>Estudio para la implantación de infraestructura Wi-Fi en el parking público del Aeropuerto Seve Ballesteros – Santander.</b>			
<b>AUTOR</b>	<b>Juan José Lavín Montes</b>			
<b>DIRECTOR</b>	<b>Ramón Agüero Calvo, Sergio Ortega Alba</b>			
<b>TITULACIÓN</b>	<b>MASTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIÓN</b>	<b>FECHA</b> <b>16/10/19</b>	<b>MES-AÑO</b> Octubre - 2019	<b>TOMO I DE I</b>

**Sergio Ortega Alba**  
Jefe Ingeniería y Mantenimiento

Maliaño, 1 de octubre de 2019

Mediante el presente documento se certifica que el alumno de Máster en Ingeniería de Telecomunicación, D. Juan José Lavín Montes, estuvo realizando su Proyecto Fin de Máster en colaboración con el personal técnico del Aeropuerto Seve Ballesteros –Santander, en el período comprendido entre marzo y septiembre de 2.019.

Dicho Trabajo Fin de Máster, cuyo título es “Estudio para la implantación de infraestructura Wi-Fi en el parking público del aeropuerto Seve Ballesteros – Santander” ha consistido en el estudio, diseño y propuesta de la infraestructura wifi necesaria para realizar la implantación de la misma en el aparcamiento público del aeropuerto, hasta ahora inexistente, y como complemento al servicio Wi-Fi ya existente en el interior del edificio terminal del aeropuerto.

Desde un punto de vista general se han adquirido conocimientos en el funcionamiento y tecnologías de sistemas Wi-Fi existentes. Desde un punto de vista técnico, se han adquirido conocimientos teórico-prácticos avanzados en el diseño y desarrollo de redes wifi en entornos reales, como lo es un aparcamiento público de un aeropuerto.

Finalmente, indicar que el trabajo realizado se considera muy satisfactorio por parte de AENA, al proponer un diseño de infraestructura que permitirá en un futuro mejorar el servicio que prestan los pasajeros de nuestro aeropuerto.

Atentamente,

Sergio Ortega Alba  
Jefe Ingeniería y Mantenimiento



Ctra. del Aeropuerto s/n  
39600 Maliaño  
Cantabria  
T + 34 942 202 103 / F +34 942 202 152  
sortega@aena.es www.aena.es



## Certificado

Mediante el presente documento se certifica que el alumno de Máster Universitario en Ingeniería de Telecomunicación, D. Juan José Lavín Montes, estuvo realizando su Trabajo Fin de Máster mediante un acuerdo de colaboración entre el Grupo de Ingeniería Telemática de la Universidad de Cantabria, AENA Aeropuerto Seve Ballesteros-Santander y la Delegación en Cantabria de la Asociación Española de Ingenieros de Telecomunicación (AEITCAN)

Dicho Trabajo Fin de Máster se enmarca dentro de la colaboración entre la AEITCAN y los alumnos de último curso del Máster Universitario en Ingeniería de Telecomunicación, siendo dirigido el mismo por Ingenieros miembros de la Asociación en Cantabria: Ramón Agüero (Profesor Titular de la Universidad de Cantabria) y Sergio Ortega Alba (Jefe Ingeniería y Mantenimiento AENA).

Lo cual certifico en Santander a 1 de octubre de 2019,



Eduardo Artal  
Delegado AEIT-Cantabria



## Agradecimientos

Me gustaría comenzar con un especial agradecimiento a mi pareja Sheila, la cual ha tenido que soportar mis momentos de desesperación no sólo a lo largo de la realización de este Trabajo Fin de Máster, sino de los dos cursos completos realizados estos dos duros años.

Me es necesario agradecer de igual manera a mis familiares, más en concreto a mis padres Juan José y Mercedes. Gracias a su tozudez (en el mejor de los sentidos) y esfuerzo han logrado mantenerme en la línea a seguir para poder optar tanto a la titulación de Grado como, en esta ocasión, a la titulación de Máster.

También merecen mi gratitud mi tutor, Ramón Agüero, siempre dispuesto a resolver las numerosas dudas que han surgido en la realización del proyecto y al Sr. Sergio Ortega, que de igual manera ha sido partícipe activo en el proyecto y siempre nos ha recibido en las instalaciones del Aeropuerto Seve Ballesteros – Santander con los brazos abiertos.

Igualmente, me gustaría agradecer los conocimientos transmitidos durante estos 7 últimos años a todo el profesorado de la titulación de Ingeniería de Telecomunicaciones. Sin vosotros y vosotras, jamás estaría aquí hoy.

Por último y no menos importante, me gustaría agradecer todos los favores y buenos momentos intercambiados con mis compañeros y compañeras de clase, a los que aprovecho también para dar la enhorabuena por haber finalizado sus estudios y espero que el hecho de terminar no signifique un adiós definitivo, sino que cada uno tome su camino sin perder nunca el contacto.

## Resumen

En el mundo del transporte de personas y mercancías, los aeropuertos juegan un papel crucial hoy en día. Lejos quedaron los años en los que los pocos aeródromos y aeropuertos estaban destinados, en su gran mayoría, a fines militares. Actualmente, la mayor parte de los viajes y trayectos de transporte en los cuales la distancia es considerable (entiéndase envíos postales entre países lejanos, por ejemplo), son llevados a cabo utilizando aeronaves.

Es por ello por lo que los aeropuertos, a su vez, también han adquirido una gran notoriedad en los últimos años. Debido a la gran demanda de tráfico aéreo, los aeropuertos necesitan llevar a cabo modificaciones y ampliaciones en su infraestructura con el fin de dar el mejor servicio posible a cada vez más pasajeros. Entre dichos servicios destaca el uso de las TIC como herramienta para la gestión aeroportuaria y para la mejora de la prestación del servicio a los pasajeros.

Específicamente y sólo el año actual, la tasa de crecimiento de usuarios en Internet es del 9,1 %, lo que significa que más de cuatro mil millones de usuarios se conectan a la red a diario. Por ello, la empresa **AENA** necesita y considera primordial esta ampliación en su infraestructura de red por diferentes causas, entre las que pueden encontrarse la comodidad de los pasajeros para acceder a Internet desde cualquier punto del recinto del aeropuerto o la mejora en la organización y gestión de los distintos trabajos llevados a cabo por parte del personal de AENA.

Debido a ello, el objetivo de este Trabajo Fin de Máster es afrontar el estudio, diseño y propuesta de la infraestructura Wi-Fi necesaria para realizar su implantación en el aparcamiento público del aeropuerto, hasta ahora inexistente, y como complemento al servicio Wi-Fi ya existente en el interior del edificio terminal.

Se partirá de un estudio de cobertura, utilizando una herramienta software específica, con la que se establecerán los puntos en los que se deberían situar los puntos de acceso para garantizar un nivel adecuado de señal.

Posteriormente se llevará a cabo un estudio de los elementos que sería necesario desplegar, así como la infraestructura de red a utilizar: cableado, etc. El resultado final del TFM sería, por tanto, un proyecto completo para afrontar el despliegue de la red Wi-Fi en la zona de interés, incluyendo una valoración económica preliminar del mismo.

Palabras clave: **Wi-Fi, AENA, IEEE 802.11, TIC**

## Abstract

Nowdays, in the world of passenger and freight transport, airports play a crucial role. Those years when the few airfields and airports were destined for the most part on military purposes seem to be so far today. At present, most of the people's travels and transport journeys in which the distance is considerable (i.e. postal consignments between distant countries), are carried out using aircraft.

It is for this reason that airports, in turn, have also gained a great deal of notoriety in recent years. Due to the high demand for air traffic, airports need to carry out modifications and expansions in their infrastructure in order to provide the best possible service to more and more services claimers. Between these services, the use of ICTs as a tool for airport management and for improving the provision of services to passengers are highlighted.

Specifically, and just for the current year, the rate of growth of Internet users is 9.1%, which means that more than four billion users connect to the network on a daily basis. For this reason, **AENA** needs and primarily considers this expansion in its network infrastructure for different reasons, among which may be the comfort of passengers to access the Internet from anywhere in the airport or the improvement in the organization and management of the various work carried out by AENA staff.

Due to this, the objective of this Master's End Project is to deal with the study, design and proposal of the Wi-Fi infrastructure (which until now did not exist) needed to carry on the implementation it in the public car park at the airport and as a complement to the existing Wi-Fi service inside the terminal building.

The starting point will be a coverage study, using a specific software tool, which will establish the points where the access points should be located to ensure an adequate level of coverage.

Subsequently, a study of the elements that would need to be deployed will be carried out, as well as the network infrastructure to be used: cabling, etc. The final result of the TFM would therefore be a complete project to tackle the deployment of the Wi-Fi network in the area of interest, including a preliminary economic assessment.

Key words: **Wi-Fi, AENA, IEEE 802.11, TIC**

# Índice

<b>1. Introducción</b> .....	<b>1</b>
1.1. Presentación.....	2
1.2. Motivación.....	3
1.3. Objetivos .....	4
1.4. Los aeropuertos: aspectos relevantes.....	5
1.4.1. El lado tierra .....	6
1.4.2. El lado aire .....	6
<b>2. Introducción al estándar 802.11</b> .....	<b>8</b>
2.1. Introducción a la tecnología Wi-Fi.....	9
2.1.1. Topologías del estándar IEEE 802.11 .....	12
2.1.2. Capa PHY en 802.11 .....	14
2.1.2.1. Técnica de propagación FHSS.....	15
2.1.2.2. Técnica de propagación DSSS.....	16
2.1.2.3. Técnica de propagación OFDM .....	18
2.1.3. Capa MAC en IEEE 802.11 .....	20
2.1.3.1. Problema del nodo oculto .....	23
2.1.3.2. Mecanismo de acceso DCF .....	24
2.1.3.3. Mecanismo de acceso PCF .....	26
2.1.3.4. Mecanismo de acceso CSMA/CA.....	26
2.2. Estándar IEEE 802.11g .....	27
2.3. Estándar IEEE 802.11n .....	28
2.3.1. MIMO y “ <i>beamforming</i> ” .....	29
2.4. Estándar IEEE 802.11ac.....	32
<b>3. Estudio superficial y simulaciones de la infraestructura</b> .....	<b>34</b>
3.1. Requisitos y restricciones del proyecto .....	35
3.2. Características del terreno .....	36
3.3. Implementación de planos en el software de simulación.....	38
3.4. Estudio de cobertura para la tecnología 802.11g.....	41

3.5. Estudio de cobertura para la tecnología 802.11n (banda de 2.4 GHz).....	46
3.6. Estudio de cobertura para la tecnología 802.11n (banda de 5 GHz).....	50
<b>4. Elección del equipamiento de red, informe técnico y presupuesto .....</b>	<b>53</b>
4.1. Controladora de red .....	54
4.2. Puntos de acceso .....	55
4.3. Equipamiento adicional y canalizaciones .....	56
4.4. Informe técnico .....	61
4.4.1. Datos de los puntos de acceso instalados.....	62
4.4.2. Consideraciones legales y normativa.....	65
4.4.3. Legislación para instalaciones de red inalámbricas .....	66
4.4.4. Estudio de seguridad y salud.....	66
4.4.4.1. Prevención de riesgos laborales.....	66
4.4.4.2. Evaluación de riesgos debidos al entorno.....	67
4.4.4.3. Condiciones de los medios de protección y plataformas de trabajo .....	68
4.5. Presupuesto.....	69
<b>5. Conclusiones y líneas futuras .....</b>	<b>70</b>
<b>6. Referencias .....</b>	<b>72</b>
<b>Anexos.....</b>	<b>74</b>
Anexo A – Hojas de características del hardware de red .....	75
Anexo B – Hojas de características del hardware de red .....	101

# Índice de Figuras

Figura 1: Desglose de zonas aeroportuarias .....	5
Figura 2: Perspectiva del lado aire del Aeropuerto Seve Ballesteros – Santander hacia el edificio terminal .....	7
Figura 3: Distribución de los estándares IEEE destinados a comunicaciones inalámbricas .....	9
Figura 4: Logo comercial de la tecnología Wi-Fi .....	10
Figura 5: Topología de red de tipo IBSS (Ad-Hoc).....	13
Figura 6: Topología de red de tipo BSS .....	13
Figura 7: Topología de red de tipo ESS .....	14
Figura 8: Distribución de una trama al utilizarse la técnica FHSS.....	16
Figura 9: Procedimiento seguido al utilizarse la técnica DSSS .....	17
Figura 10: Esquemas transmisor y receptor al utilizar técnica de transmisión DSSS .....	18
Figura 11: Diagrama de bloques de un transmisor OFDM.....	19
Figura 12: Formato de trama MAC en IEEE 802.11 .....	21
Figura 13: Campo de control de la trama MAC.....	21
Figura 14: Escenario de nodo oculto en una red inalámbrica .....	23
Figura 15: Proceso de espera en transmisiones DCF.....	25
Figura 16: Ganancia de multiplexado para sistema MIMO 2x2 (azul) y 4x4 (rojo) .....	30
Figura 17: Ganancia en diversidad para sistema SISO (rojo) y sistema MIMO 2x2 (azul) .....	30
Figura 18: Escenario SIMO 1x3: ejemplo de ganancia en array.....	31
Figura 19: Imagen satélite de la superficie del parking público del Aeropuerto Seve Ballesteros - Santander.....	35
Figura 19 (bis): Vista satélite del parking público con longitudes totales de canalización .....	58
Figura 20: Plano de planta de la superficie del aparcamiento público del aeropuerto .....	37
Figura 21: Disposición de las marquesinas y postes de acero en las zonas de aparcamiento público.....	37
Figura 22: Ejecución del software de procesado de bases de datos vectoriales de terrenos “WallMan” .....	38
Figura 23: Creación de una nueva base de datos vectorial a partir de los planos provistos por AENA.....	39
Figura 24: Zona UTM del Aeropuerto Seve Ballesteros - Santander .....	39
Figura 25: Proceso de conversión de los planos del aeropuerto a base vectorial de datos.....	40
Figura 26: Comparativa entre base de datos nativa (izquierda) y base de datos modificada (derecha).....	41
Figura 27: Menú de creación de proyecto de análisis electromagnético.....	42
Figura 28: Posicionamiento de nueve puntos de acceso en el parking del aeropuerto.....	42
Figura 29: Definición de modulaciones de portadora disponibles y división del espectro de operación de IEEE 802.11g .....	43
Figura 30: Distribución de los canales Wi-Fi en la tecnología IEEE 802.11g .....	44
Figura 31: Niveles de potencia presentes en el área del parking del aeropuerto ubicando nueve puntos de acceso .....	44
Figura 32: Distribución de los puntos de acceso para la segunda configuración planteada.....	45
Figura 33: Niveles de potencia presentes para tres puntos de acceso operando según el estándar 802.11g.....	45
Figura 34: Mejores zonas de rendimiento para cada punto de acceso.....	46

Figura 35: Distribución del throughput de datos en el área destinada al aparcamiento público.....46

Figura 36: Implementación de la tecnología MIMO 2x2 al realizar la simulación del estándar 802.11n .....47

Figura 37: Niveles de potencia presentes en el área destinada al aparcamiento público al utilizar la tecnología 802.11n MIMO 2x2 a la frecuencia de 2.4 GHz – Primer escenario .....47

Figura 38: Niveles de potencia presentes en el área destinada al aparcamiento público al utilizar la tecnología 802.11n MIMO 2x2 a la frecuencia de 2.4 GHz – Escenario final .....48

Figura 39: Niveles de throughput en cada punto del área del aparcamiento al utilizar 4 puntos de acceso 802.11n MIMO 2x2 a 2.4 GHz .....49

Figura 40: Mejor rendimiento de cada punto de acceso en función de cada punto del área del aparcamiento al utilizar la tecnología 802.11n MIMO a 2.4 GHz.....49

Figura 41: Distribución de los canales Wi-Fi en la banda de 5 GHz .....50

Figura 42: Niveles de potencia presentes en el área destinada al aparcamiento público al utilizar la tecnología 802.11n MIMO 2x2 a la frecuencia de 5 GHz .....51

Figura 43: Niveles de throughput en cada punto del área del aparcamiento al utilizar 4 puntos de acceso 802.11n MIMO 2x2 a 5 GHz .....51

Figura 44: Mejor rendimiento de cada punto de acceso en función de cada punto del área del aparcamiento al utilizar la tecnología 802.11n MIMO 2x2 a 5 GHz.....52

Figura 45: Controladora de red disponible en el aeropuerto Cisco 5520 Wireless Controller .....54

Figura 46: Punto de acceso Cisco Aironet 150 Series Outdoor APs .....56

Figura 47: Armario “rack” situado en el centro de cableado más próximo a la infraestructura de red .....57

Figura 48: Roza o zanja de canalización de cableado en pavimento .....58

Figura 49: Esquema de conexionado final de la infraestructura de red .....60

Figura 50: Ubicación de los puntos de acceso AP1 y AP2 en los planos del parking del aeropuerto .....63

Figura 51: Ubicación del punto de acceso AP3 en los planos del parking del aeropuerto .....63

Figura 52: Ubicación del punto de acceso AP4 y el posible punto de acceso AP5 en los planos del parking del aeropuerto.....64

# Índice de tablas

Tabla 1: Revisión de los estándares IEEE 802.11 .....	11, 12
Tabla 2: Configuraciones 802.11n en función de modulación, número de “streams” y ancho de banda del canal .....	32
Tabla 3: Rendimiento del estándar 802.11ac .....	33
Tabla 4: Parámetros eléctricos del material etiquetado como “Metal” .....	40
Tabla 5: Descripción del proyecto técnico llevado a cabo.....	61
Tabla 6: Características del punto de acceso AP1 .....	62
Tabla 7: Características del punto de acceso AP2 .....	62
Tabla 8: Características del punto de acceso AP3 .....	63
Tabla 9: Características del punto de acceso AP4 .....	64
Tabla 10: Características del potencial punto de acceso AP5 en caso de necesitarse ampliación de la infraestructura.....	64
Tabla 11: Presupuesto estimado de la infraestructura.....	69

## Lista de acrónimos

### **A:**

ACK – Acknowledge

AENA – Aeropuertos Españoles y Navegación Aérea

AP – Access Point (Punto de acceso)

AES – Advanced Encryption Standard

### **B:**

Bridging

BOE – Boletín Oficial del Estado

BSS – Basic Service Set

BER – Bit Error Rate

### **C:**

CPD – Centro de Procesado de Datos

Capa física

Capa MAC

CSMA/CD

Canal Rayleigh

CTS – Clear To Send

### **D:**

DS – Distribution System

DCF – Distributed Coordinated Function

DSSS – Direct Sequence Spread Spectrum

### **E:**

ESS – Extended Service Set

### **F:**

FCC – Comisión Federal de Comunicaciones

Frecuencia

FSK – Frequency Shift Keying

FFT – Fast Fourier Transform

FHSS – Frequency Hopping Spread Spectrum

**I:**

ISM – Banda Industria, Científica y Médica

IrDA – Infrared Data Association

ITU – Unión Internacional de Telecomunicaciones

IAPP – Inter-Access Point Protocol

IoT – Internet of Things

IBSS – Independent Basic Service Set

IFFT – Inverse Fast Fourier Transform

**M:**

Mesh

MRC – Maximum Ratio Combining

Wi-Fi

MIMO – Multiple Input – Multiple Output

**O:**

OFDM – Orthogonal Frequency Division Multiplexing

**P:**

PC – Punto de Coordinación

PLCP – Physical Layer Convergence Procedure

Punto de acceso

PMD – Physical Medium Dependent

PDU – Protocol Data Unit

**Q:**

QoS – Quality of Service

TKIP

**R:**

RTS – Ready To Send

Roaming

**S:**

STA – Station

STBC – Space-Time Block Coding

SVD – Singular Value Decomposition

SDU – Service Data Unit

SIMO – Single Input – Multiple Output

**T:**

TKIP – Temporal Key Integrity Protocol

**W:**

WPA2

# Capítulo 1- Introducción

## 1.1. Presentación

Este documento se ha llevado a cabo por parte del autor y con la colaboración del personal técnico de AENA Aeropuerto Seve Ballesteros - Santander dentro del marco de un Trabajo Fin de Máster. En el presente trabajo, se pretende ampliar la infraestructura de red Wi-Fi del aeropuerto mencionado previamente, en su parking público, ya que en la actualidad sólo se dispone de cobertura Wi-Fi en el interior del edificio terminal [1].

En el primer apartado de este capítulo, se enumerarán las motivaciones del proyecto. También se realizará una descripción del escenario en el que este proyecto se va a llevar a cabo, esclareciendo algunas particularidades a tener en cuenta en el caso específico de las zonas aeroportuarias. Acto seguido, se dará paso en el segundo apartado a los objetivos del mismo.

En el segundo capítulo se realizará un estudio del estándar base IEEE 802.11 para posteriormente, entrar más en profundidad en sus evoluciones posteriores (802.11a, 802.11b, 802.11g, 802.11n, etcétera...). Acto seguido, se escogerá el estándar que más se adecúe a las necesidades que atañen al proyecto, teniendo en cuenta una estimación del número de personas que necesiten de este servicio.

Posteriormente, se llevará a cabo una revisión de las herramientas de análisis de entornos electromagnéticos para observar los niveles de potencia, campo eléctrico, tasa binaria (canales Uplink y Downlink) y relación portadora e interferencia a ruido (SINR) provistos por los puntos de acceso que se distribuirán en todo el recinto del aparcamiento público del aeropuerto, en base a los planos del recinto proporcionados por AENA. Tras esta comparación, se ha decidido utilizar el software de análisis de entornos electromagnéticos “FEKO WinProp” debido a que es capaz de realizar simulaciones basándose en los planos previamente mencionados y dispone de una adecuada interfaz gráfica para visualizar los resultados de la simulación. También se desarrollarán las metodologías seguidas en el proceso de elección de un software capaz de simular el comportamiento de la red desplegada, incluyendo los niveles de señal, relación portadora e interferencia a ruido (SINR) y tasas binarias en Uplink y Downlink para cada tipo de modulación utilizadas. Previamente, los planos provistos por la organización AENA que engloban el área de evaluación de las simulaciones deben ser introducidos en el software, por lo que se mostrará el proceso correspondiente de conversión.

En el cuarto capítulo se determinarán las soluciones hardware para llevar a cabo el despliegue de la red, teniendo en cuenta estos dos posibles escenarios:

- Acometida de nueva subred para el parking público: Será necesario valorar la instalación o aprovechamiento de una controladora de red con el fin de gestionar la nueva subred.

- Uso de la red propietaria del aeropuerto: Simplemente será necesario llevar a cabo la instalación de los puntos de acceso y la canalización de su cableado hasta las controladoras de red situadas dentro del edificio terminal.

Después de comparar qué solución es la más idónea, se reflejará en el documento un desglose del presupuesto necesario para acometer la infraestructura del proyecto en su totalidad. Adicionalmente, se realizará una propuesta de proyecto técnico el cual incluirá conceptos de seguridad y salud que han de tenerse en cuenta para ajustarse a la normativa vigente.

En el quinto capítulo, se realizará una valoración del proyecto, extrayendo las conclusiones pertinentes, y realizando un juicio de valor para posibles ampliaciones y configuraciones de la infraestructura llevada a estudio.

Finalmente se incluyen dos anexos entre los que se pueden encontrar las hojas de características de los componentes hardware propuestos para conformar la infraestructura Wi-Fi, y los importes de los materiales de canalización.

## 1.2. Motivación

En el pasado año 2018, alrededor de 264 millones de pasajeros utilizaron los aeropuertos en España para llevar a cabo viajes y/o transporte de mercancías [2]. En concreto, más de un millón de personas utilizaron los servicios del Aeropuerto Seve Ballesteros - Santander [3].

En este punto, y en pleno auge de las TIC, es necesario tener en cuenta que casi la totalidad de estos pasajeros, son potenciales usuarios de Internet mediante diferentes dispositivos cada vez más cotidianos (smartphones, tablets, smartwatches, etcétera...), ya sea por motivos intrínsecos de trámites en sus viajes (facturación on-line vía aplicación móvil de la compañía aérea que realice el vuelo, mensajería instantánea o entretenimiento) o por motivos logísticos propios del personal aeroportuario (estadísticas de flujo de personas en el aeropuerto, organización de las diferentes llegadas de pasajeros, contabilización de plazas libres en los aparcamientos, etcétera...).

La principal motivación del proyecto es la necesidad transmitida por AENA Aeropuerto Seve Ballesteros-Santander de ampliar la infraestructura Wi-Fi del aeropuerto y para dar servicio al parking público.

Este hecho permite plantear un TFM de ingeniería de telecomunicación sobre un caso real, pudiendo colaborar tanto con el Grupo de Ingeniería Telemática como con AENA, empresa ajena a la Universidad.

Debido a ello, en este Trabajo Fin de Máster se realizará el estudio, diseño y propuesta de la infraestructura Wi-Fi necesaria para realizar su implantación en el aparcamiento

público del aeropuerto, hasta ahora inexistente, y como complemento al servicio Wi-Fi ya existente en el interior del edificio terminal.

### 1.3. Objetivos

El principal objetivo del proyecto es la ampliación de la infraestructura de red del Aeropuerto Seve Ballesteros – Santander en lo que se refiere a tecnología Wi-Fi. Para ello, en el proyecto comenzará con la planificación de la mencionada infraestructura.

Esto significa que se partirá realizando la planificación software de la red Wi-Fi, obteniéndose los niveles de señal en cada punto de la superficie del aparcamiento público del aeropuerto. Después de la obtención de este parámetro, se realizará una planificación de red más profunda. Se llevará a cabo un análisis de los diferentes estándares disponibles actualmente, en el cual se dotará a los APs de capacidad para realizar transmisiones utilizando diferentes técnicas, como puede ser la utilización de diferentes modulaciones de portadora en cada AP o la planificación del reparto de portadoras por canal en caso de escoger un estándar que incluya la tecnología MIMO (802.11n, 802.11 ad). A partir de esta planificación, se obtendrán los siguientes parámetros:

- Throughput (Uplink y Downlink en los diferentes canales Wi-Fi)
- SINR (Uplink y Downlink para cada modulación de portadora y AP)
- Áreas de cobertura para cada AP
- Mejor AP para cada zona del aparcamiento

Tras el estudio de cobertura en el software de simulación de entornos de propagación, se establece el siguiente objetivo: realizar una valoración de las diferentes alternativas disponibles para el despliegue, esclareciendo cuál de ellas presentarían más ventajas respecto a otras, así como los inconvenientes que también pudiesen presentar. Se tendrá en cuenta la infraestructura de red ya desplegada para dar servicio dentro del edificio terminal del aeropuerto para extenderlo a la zona exterior del mismo en el área de aparcamiento público, así como también se propondrá el despliegue de una subred específica para la nueva zona de cobertura Wi-Fi, algo que a priori podría suponer un mayor gasto económico, pero que por otra parte podría presentar ventajas tanto en rendimiento como en la gestión de red.

## 1.4. Los aeropuertos: aspectos relevantes

Un paso previo a realizar un análisis de las tecnologías de las que se dispone en el mercado es una breve descripción del tipo de emplazamiento al que se pretende dar servicio. El siguiente apartado engloba los aspectos más característicos de los aeropuertos y resalta aquellos factores que se han de tener en cuenta al trabajar o utilizar los servicios de este tipo de edificios.

En este apartado se describen los aspectos más relevantes y que son necesarios tener en cuenta a la hora de afrontar cualquier proyecto en un emplazamiento como este. La definición formal de aeropuerto o aeródromo es la siguiente: la superficie de tierra o agua destinada, total o parcialmente, al tráfico de aeronaves (aviones comerciales, de mercancías, helicópteros, etcétera...) [4]. Cada aeropuerto debe ser identificado mediante un código IATA (International Air Transport Association) para poder establecer vuelos comerciales entre sus servicios. En el caso concreto del Aeropuerto Seve Ballesteros – Santander, situado en la localidad de Maliaño (Camargo), a 4 kilómetros al sur de la capital de Cantabria (Santander) (por lo que se puede calificar como aeropuerto urbano), el código asignado es “**SDR**”.

Los aeropuertos presentan dos zonas diferenciadas, por un lado la “zona tierra”, donde se llevan a cabo las tareas destinadas a facturación de viajes, control de aduanas, embarque de pasajeros, etcétera..., y por otra parte, el lado de la “zona aire” donde se llevan a cabo los despegues y aterrizajes de aviones, embarque de pasajeros y mantenimiento de aeronaves entre otras tareas. La Figura 1 muestra el desglose de las zonas y tareas destinadas a cada una de las áreas mencionadas [5].

A E R O P U E R T O	Lado  Tierra	Área Terminal	Terminal de carga Terminal de pasajeros Otros edificios		
		Urbanización	Vías de acceso Aparcamientos		
		Zona Industrial	Zona Industrial		
	Lado  Aire	Área de movimiento	Área de maniobras	Área de aterrizaje Área de rodaje	
			Plataforma		
		Área de Seguridad			

Figura 1: Desglose de zonas aeroportuarias

### 1.4.1. El lado tierra

El principal emplazamiento de la zona tierra es el edificio terminal del aeropuerto. Este edificio sirve de enlace entre el transporte aéreo y el transporte terrestre y es el lugar donde se llevan a cabo las tareas mencionadas previamente en la descripción del lado tierra, tanto por parte de pasajeros como de mercancías. Para el trámite de estas tareas, se lleva a cabo un desglose en tres categorías, descritas a continuación [5].

- **Tramitación:** Despacho de billetes, controles de seguridad información, facturación, recogida de equipajes y embarques de pasajeros o mercancía.
- **Circulación:** Llevada a cabo a través de itinerarios establecidos. Entran dentro de esta categoría las conexiones entre los accesos y los aviones.
- **Espera:** Servicios al consumidor durante la espera a los vuelos tales como restaurantes, farmacia, tiendas, cafetería, alquiler de coches, cambio de divisas, aseos, guardería, aseos, etcétera... .

Dentro de la zona tierra también se encuentra el área de aparcamiento, la cual está directamente relacionada con este proyecto y por ello será descrita en detalle en el tercer capítulo. Abarca un área de aproximadamente 30.000 metros cuadrados y debe ser provista en su totalidad por servicio Wi-Fi.

### 1.4.2. El lado aire

Dentro de esta área se llevan a cabo las tareas relacionadas directamente con las aeronaves, tales como el despegue y el aterrizaje de aviones, mantenimiento de los mismos, embarque de pasajeros y mercancías, zonas destinadas a maniobras, etcétera... . Las pistas de aterrizaje y las aeronaves deben ser sometidas a estrictos controles en cuanto a sus dimensiones, debido a la criticidad presente a la hora de llevar a cabo el despeje o aterrizaje de aviones.

Algunas de las instalaciones presentes en el lado aire son mencionadas a continuación:

- Señalización visual
- Torre de control y ayudas radioeléctricas, instalación a 400 Hz
- Instalaciones de suministro de combustible
- Estación meteorológica

La Figura 2 muestra una perspectiva del edificio del Aeropuerto desde el lado aire. En la imagen también se puede distinguir el servicio de embarque de pasajeros mediante

escaleras y el de transporte de equipajes desde el edificio hasta el avión mediante pequeños vehículos de carga eléctricos.



*Figura 2: Perspectiva del lado aire del Aeropuerto Seve Ballesteros – Santander hacia el edificio terminal.*

## Capítulo 2 – Introducción al estándar 802.11

## 2.1. Introducción a la tecnología Wi-Fi

El estándar IEEE 802.11 forma parte del organismo de estandarización IEEE, el cual ha jugado un papel muy importante en lo que a comunicaciones inalámbricas se refiere. La siguiente Figura muestra cómo IEEE distribuyó inicialmente (alrededor del año 2000) los diferentes estándares destinados a comunicaciones inalámbricas en función del rango de alcance y frecuencia de operación.

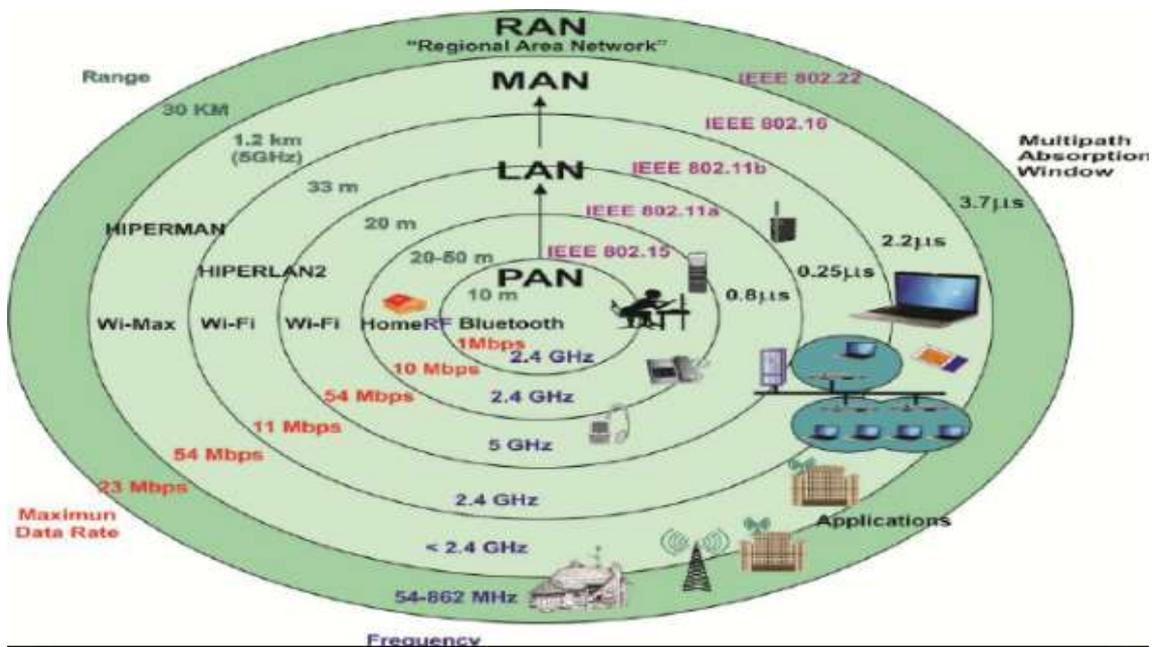


Figura 3 – Distribución de los estándares IEEE destinados a comunicaciones inalámbricas.

En el comienzo de las comunicaciones inalámbricas, éstas eran llevadas a cabo utilizando el espectro de emisión infrarrojo (IrDA). Posteriormente, en 1980 se comenzaron a llevar a cabo las primeras comunicaciones inalámbricas mediante ondas electromagnéticas utilizando *Wireless Modems*, los cuales eran capaces de dar acceso a internet a un ordenador previa contratación de línea de Internet por parte de un ISP. No fue hasta la década de los noventa cuando se comenzó a plantear un estándar para el acceso inalámbrico de banda ancha a Internet: el estándar IEEE 802.11.

La etimología del término Wi-Fi tiene su origen en el término *Wireless-Fidelity*, nombre establecido por la compañía de marketing *Interbrand* en el año 1999. De esta manera, la marca Wi-Fi certifica si un producto cumple los requisitos para formar parte del estándar IEEE 802.11. En el año 1995, la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC) bajo la supervisión de la ITU designó, además de las bandas ISM, las bandas libres de emisión para las comunicaciones inalámbricas a Internet de banda ancha a las frecuencias de 2.4 – 2.5 GHz ( $f_c = 2.45$  GHz), 5.725 – 5.875 GHz ( $f_c = 5800$  GHz) [6]. Adicionalmente, debido al lanzamiento del estándar 802.11 ad, el cual opera en la banda de los 60 GHz,

el Gobierno de España ha especificado en el BOE con fecha 13 de junio de 2018 [7] la licencia no ISM para las comunicaciones de datos de banda ancha inalámbrica en la banda de 57 – 64 GHz ( $f_c = 60$  GHz).

El estándar 802.11, pese a tener sus comienzos de desarrollo en el año 1990, fue algo caótico en sus comienzos, debido a la discordancia entre los diferentes productos comerciales de diferentes fabricantes los cuales no funcionaban del todo correctamente a la hora de enlazarlos entre ellos y dotarlos de una conexión a Internet. Debido a ello, las compañías 3COM, Aironet (ahora Cisco), Lucent Technologies (Agere en la actualidad), Intersil, Nokia y Symbol Technologies formaron la alianza WECA con el objetivo de dar estabilidad al estándar IEEE 802.11. Esta alianza sin ánimo de lucro consiguió certificar la interoperabilidad de los productos que forman parte del estándar base de este proyecto.

A día de hoy, más de cuatrocientas cincuenta empresas (Microsoft, Apple, Broadcom, Qualcomm e Intel entre ellas) forman la alianza WECA (Wi-Fi Alliance en la actualidad) y más de quince mil productos están certificados como parte del estándar IEEE 802.11.

Unos años después, en 1997, gracias a la colaboración de las compañías que formaban esta alianza, se logró llevar a cabo el estándar nativo IEEE 802.11, el cual especificaba las características de capa física y MAC para las redes de área local inalámbrica (LAN), obteniéndose así un estándar sobre el cual trabajar y mejorar.

Llegados al año 1999, las compañías que por aquel entonces formaban la WECA, lograron hacer evolucionar el estándar y sacar hasta dos revisiones del mismo (IEEE 802.11a y 802.11b), en las cuales se aumentó la tasa binaria a la cual se podían transmitir/recibir datos gracias a diferentes avances en el procesado de señal (incorporación de OFDM y espectro ensanchado).

Partiendo de esta base ya muy bien estructurada, la cual ya permitía el acceso a Internet por parte de dispositivos certificados Wi-Fi de forma estable y compatible con todos los dispositivos certificados, en los años posteriores y hasta día de hoy, se han llevado a cabo varias revisiones del estándar IEEE 802.11, las cuales se han desarrollado para dar servicio en escenarios muy concretos, simplemente para mejorar ciertos aspectos del estándar o también para realizar tareas de seguridad en el intercambio de datos por vía inalámbrica (802.11i) o definición de calidad de servicio para este estándar (802.11e). En la Figura 4 se muestra el logo comercial de la tecnología Wi-Fi, donde se pueden observar algunos de los estándares que se analizarán en los apartados posteriores.



Figura 4: Logo comercial de la tecnología Wi-Fi

La tabla 1 recoge todos los estándares 802.11 en función del propósito para el cual fueron desarrollados.

Tabla 1: Revisión de los estándares IEEE 802.11

Estándar	Frecuencia de operación	Tasa binaria máxima	Comentarios
IEEE 802.11a	5 GHz	54 Mbps	Emplea técnicas OFDM
IEEE 802.11b	2.4 GHz	11 Mbps	Versión muy extendida
IEEE 802.11c	-	-	Destinado a "Bridging"
IEEE 802.11d	-	-	Cambios en capa física para adaptación a diferentes planes frecuenciales en otros países
IEEE 802.11e	-	-	Mejoras en la capa MAC para proporcionar QoS
IEEE 802.11f	-	-	Define el protocolo IAPP para compatibilidades entre diferentes APs. Retirado en 2008
IEEE 802.11g	2.4 GHz	54 Mbps	Extensión de 802.11b de alta velocidad gracias al uso de técnicas OFDM y DSSS
IEEE 802.11h	-	-	Gestión de potencia y espectro para 802.11a
IEEE 802.11i	-	-	Incorpora mecanismos mejorados de seguridad y autenticación (TKIP, algoritmo de cifrado AES, clave de acceso WPA2)
IEEE 802.11j	4.9 – 5 GHz	-	Selección de canal para las frecuencias mencionadas en Japón según sus normativas
IEEE 802.11k	-	-	Gestión de recursos radio para toma de medidas en niveles superiores
IEEE 802.11m	-	-	Mantenimiento del estándar 802.11
IEEE 802.11n	2.4 y 5 GHz	600 Mbps	Empleo de modulaciones con tasa de codificación máxima. Empleo de MIMO y canales de 40 MHz
IEEE 802.11p	-	-	Comunicaciones en entornos vehiculares
IEEE 802.11r	-	-	Mejora de tiempo en entornos con "roaming"
IEEE 802.11s	-	-	Estándar para redes tipo "Mesh"
IEEE 802.11t	-	-	Medidas estandarizadas de rendimiento
IEEE 802.11u	-	-	Interoperabilidad con redes externas
IEEE 802.11v	-	-	Gestión uniforme y centralizada de interfaces 802.11 en entornos con un número de APs alto
IEEE 802.11w	-	-	Seguridad en las operaciones de gestión de estándar
IEEE 802.11y	-	-	Aplicación del estándar en banda 3.65 – 3.7 GHz en E.E.U.U.
IEEE 802.11z	-	-	Aparición de Direct Link Setup
IEEE 802.11aa	-	-	Transporte robusto de flujos de vídeo y voz

Estándar	Frecuencia de operación	Tasa binaria máxima	Comentarios
<b>802.11ac</b>	5 GHz	1 Gbps	Muy alto rendimiento. Velocidad máxima alcanzada con 8 “streams” MIMO en el AP y 4 “streams” de doble antena en el terminal
<b>802.11ad</b>	57 - 66 GHz	7 Gbps	Muy alto rendimiento en la banda de 60 GHz. Velocidad máxima alcanzada con “streams” MIMO 10x10. Recomendado para usos en cortas distancias por las pérdidas de propagación en espacio libre a estas frecuencias
<b>IEEE 802.11ae</b>	-	-	Gestión del QoS (priorización de las tramas de gestión)
<b>IEEE 802.11af</b>	54 – 790 MHz	568.9 Mbps	Utilización del espectro “TV Whitespace” con objeto de obtener mayor cobertura debido a la baja atenuación de propagación en espacio libre en esta banda
<b>IEEE 802.11ah</b>	< 1GHz	347 Mbps	Mayor cobertura y bajo consumo. Utilizado en entornos IoT
<b>802.11ai</b>	-	-	Fast Initial Link Setup. Conexiones seguras con baja latencia
<b>802.11 aj</b>	45 GHz	15 Gbps	Muy alta capacidad en banda de ondas milimétricas. Estándar ampliamente adoptado en China. Velocidad máxima alcanzada con 4 “streams” MIMO y canales de 1080 MHz
<b>802.11ak</b>	-	-	Bridging con 802.1 a través de enlaces 802.11
<b>802.11 aq</b>	-	-	Descubrimiento pre-asociación de servicios ofrecidos por redes
<b>802.11 ax</b>	2.4 y 5 GHz	1.2 Gbps/stream	Sucesor de la versión 802.11ac. Uso de canales de 160 MHz y técnicas OFDMA
<b>802.11ay</b>	60 GHz	40 Gbps	Sucesor de la versión 802.11ad. En desarrollo.

A continuación, se llevará a cabo un análisis de las topologías presentes a la hora de llevar a cabo el despliegue de una infraestructura de red inalámbrica para, finalmente, escoger la más adecuada en el escenario del proyecto.

### 2.1.1. Topologías del estándar IEEE 802.11

Existen tres tipos de topología básicos a la hora de desplegar una red basada en la tecnología Wi-Fi, siendo estas:

- **Independence Basic Service Set (IBSS)**

- **Basic Service Set (BSS)**
- **Extended Service Set (ESS)**

La primera de ellas (**IBSS**) no dispone de un AP que conecte entre sí todos los equipos hacia la red, sino que directamente, los equipos que forman la red están conectados únicamente entre sí. Es por ello que a este tipo de topología se le denomina “Ad-Hoc”. Generalmente, las redes basadas en este tipo de topología no se conectan a otras redes de mayor o igual dimensión, por lo que están destinadas a compartir recursos locales en una red aislada. La Figura 5 muestra una configuración de red con esta topología.

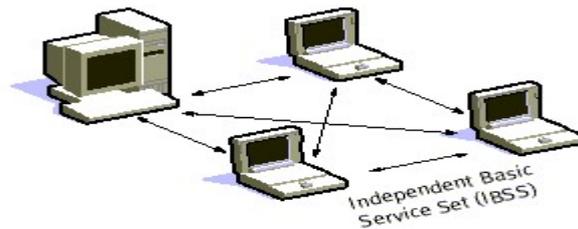


Figura 5: Topología de red de tipo IBSS (Ad-Hoc)

El segundo tipo de topología (**BSS**) consiste en conectar varios equipos de una red a un AP, el cual estará conectado a una red externa (bien sea otra subred local o directamente a Internet). De esta manera, el intercambio de datos ya no se lleva a cabo en una red/subred propietaria, sino que se dota a los equipos de conexión a redes más allá del ámbito local. Adicionalmente, gracias al lanzamiento de la tecnología “Direct Link Setup” por parte de la “Wi-Fi Alliance” en el desarrollo del estándar IEEE 802.11z, los equipos locales que forman este tipo de topología pueden intercambiar datos entre sí mediante una conexión punto a punto entre los equipos transmisor y receptor. La Figura 6 muestra la filosofía básica de este tipo de topología.

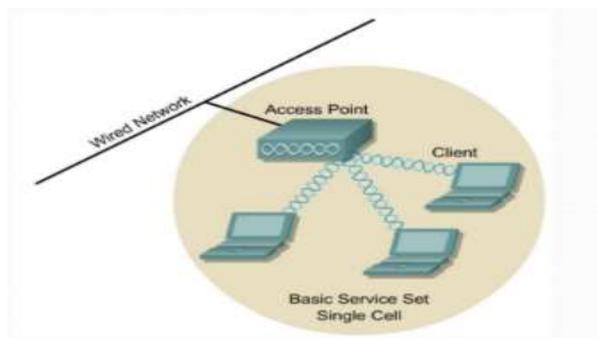


Figura 6: Topología de red de tipo BSS

Por último, la tercera topología (**ESS**) consiste en superponer varias redes basadas en la topología BSS (cada una con su AP) y conectarlas a través de un sistema de distribución encargado de encaminar el tráfico que circula entre los APs hacia el nodo de salida a la red de Internet. Normalmente el sistema de distribución (DS) suele realizarse utilizando la tecnología Ethernet. De esta forma, los equipos conectados a la red pueden escoger el AP que mejores prestaciones le de en función de la posición en la que se encuentre. Este fenómeno es el conocido como “Roaming”. Para este proyecto, este tipo de

topología es el más idóneo de utilizar debido a la gran superficie que necesita cubrirse (40.000 m<sup>2</sup>). La Figura 7 muestra una interpretación gráfica de la topología ESS.

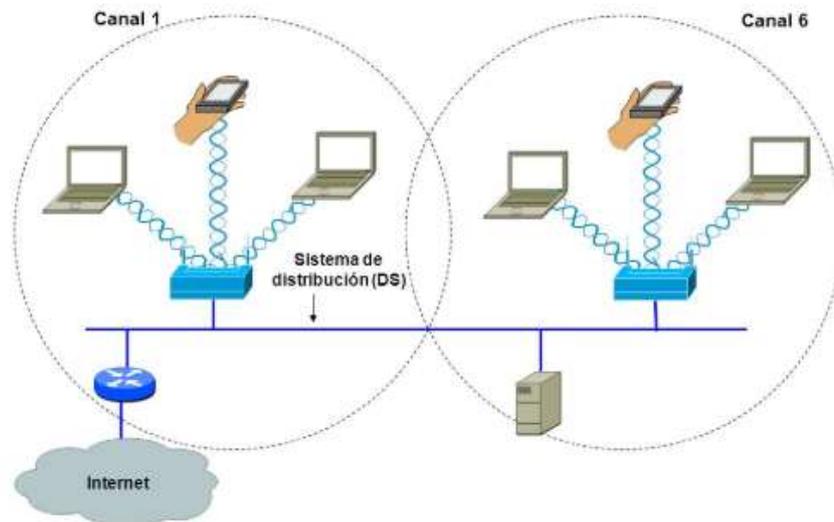


Figura 7: Topología de red de tipo ESS

Una vez estudiadas las diferentes topologías que pueden desplegarse, se entrará más en detalle en lo que se refiere a la tecnología utilizada en el desarrollo del proyecto, diferenciando las capas que la componen y las técnicas empleadas para la optimización de las mismas.

## 2.1.2. Capa PHY en 802.11

Se entiende por capa “PHY” la capa física de la tecnología 802.11. Ésta es la encargada de conectar la capa de enlace con el medio físico por donde van a ser transmitida la información (en este caso, el aire). Su arquitectura está dividida en dos sub-capas diferenciadas:

- **Sub-capas PMD (Physical Medium Dependent):** Es la encargada de gestionar las características particulares del medio inalámbrico, como puede ser las técnicas de propagación utilizadas en un escenario. De la misma manera, en esta sub-capas se definen los métodos de transmisión y recepción en el medio (como pueden ser modulación/demodulación y codificación).
- **Sub-capas PLCP (Physical Layer Convergence Procedure):** Es la encargada de enlazar la capa MAC con la capa PHY, realizando tareas como el mapeo de las PDU de la capa MAC en SDU que pueden ser interpretadas por esta sub-capas, de manera que se posibilite la definición de un protocolo MAC genérico. Además, esta sub-capas es la encargada de realizar el sensado de portadora CCA (Clear

Channel Assessment), el cual da información a la capa MAC sobre el estado de la conexión con el AP.

Entre las funciones de la capa PHY, como ya se ha comentado anteriormente, está la de dotar a la señal de diferentes tipos de modulación en la transmisión de las tramas por el medio. Gracias a ello, el sistema se puede adaptar en función de la distancia a la que un usuario esté de un AP en concreto, cambiando el tipo de modulación para dar más o menos robustez o velocidad a la conexión. La capa PHY también es la encargada, como previamente se ha mencionado, de intercambiar las tramas con la capa de enlace o capa MAC. De esta manera, se aprovecha también para dar información a la capa de enlace de la ocupación del medio, evitando así colisiones en el intercambio de tramas de datos.

Además de ello, otro aspecto a tener en cuenta es el del modo en el cuál van a ser transmitidas las señales radio. En este aspecto, como ya se ha mencionado en la tabla 1, se dispone de una amplia gama de versiones del estándar 802.11 que podrían adecuarse en mayor o menor medida en función de la demanda de tráfico o del escenario en que se desarrollen.

Dentro de la capa PHY 802.11, se especifican los tipos de modulación y tasas de codificación con las que se transmitirán las señales en función de la calidad del enlace AP – STA, algo que determinará también la tasa binaria máxima a la cual se intercambiarán los datagramas en un escenario 802.11 en función de parámetros como distancia, presencia o no de obstáculos, “roaming”, etcétera.

Dentro del ámbito de las comunicaciones llevadas a cabo en entornos 802.11, existen tres tipos de técnicas de propagación especificados para la capa PHY, siendo estos “**Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS)**”, “**Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)**” y “**Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)**”, las cuales serán vistas en detalle a continuación. Las dos primeras técnicas componen lo que se conoce como técnicas de espectro ensanchado y que fueron parte fundamental a la hora de evitar interferencias con las señales con las que comparten el canal.

### 2.1.2.1. Tecnología FHSS

La técnica **Frequency Hopping Spread Spectrum** (en castellano, Espectro Ensanchado por Salto de Frecuencia) consiste en que el transmisor envía fragmentos de una trama de manera alternativa y pseudoaleatoria (en función de tablas conocidas por transmisor y receptor) en las diferentes frecuencias que componen el ancho de banda (cada fragmento con una anchura espectral de 1 MHz) a una tasa de 50 cambios de frecuencia por segundo. La Figura 8 da una perspectiva gráfica de este concepto, mostrando cómo el transmisor distribuye una trama al utilizar este tipo de técnica.

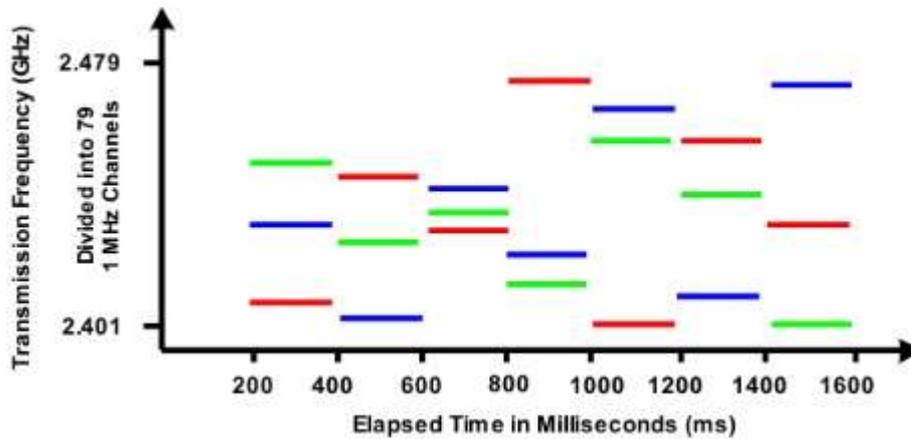


Figura 8: Distribución de una trama al utilizarse la técnica FHSS

Por lo tanto, cada fragmento de datos se transmite a diferente frecuencia durante un corto intervalo de tiempo. Gracias a ello, se consigue cancelar en gran medida la interferencia por parte de otro transmisor cercano, ya que es muy improbable que dos transmisores estén transmitiendo a la vez exactamente en la misma frecuencia. En caso de que exactamente dos transmisores envíen los fragmentos de sus tramas en el mismo canal y al mismo tiempo, la señal no es recibida por el receptor y las tramas serán enviadas en el siguiente salto.

Debido a la anchura espectral de cada fragmento de trama y al ancho de banda del canal 802.11, resulta trivial calcular el número de canales que componen el espectro 802.11 al utilizar esta técnica (un total de 79 canales). Para la transmisión de los fragmentos, el estándar define la modulación a utilizar, la cual resulta ser FSK (Fast Shift Keying), obteniéndose unas tasas de transmisión entre 1 y 2 Mbps. Este tipo de técnica se propuso en el estándar original 802.11 únicamente y nunca tuvo presencia comercial. Debido a la mejora de rendimiento al utilizar otras técnicas de transmisión diferentes, algunas de ellas explicadas más en detalle en líneas posteriores de este proyecto.

### 2.1.2.2. Tecnología DSSS

El utilizar la técnica **Direct Sequence Spread Spectrum** (en castellano se traduce en Espectro Ensanchado por Secuencia Directa) conlleva la generación de una cantidad de bits pseudoaleatorios que son generados por el transmisor y enviados al receptor para la posterior decodificación de los datos. A este conjunto de bits pseudoaleatorios se le conoce en 802.11 con el nombre de secuencia "Barker". La secuencia está diseñada de manera que existan aproximadamente el mismo número de bits con valor lógico '0' que con valor '1' para facilitar la decodificación de la señal en el lado del receptor. Al aumentar la cantidad de bits en la trama, se consigue un ancho de banda de la señal de 22 MHz. Este ancho de banda es lo suficientemente grande para que se produzcan solapamientos entre los canales contiguos, por lo que una configuración idónea a la hora de abordar una infraestructura 802.11 con un número considerable de APs utilizando esta técnica de transmisión sería dotar de suficiente separación entre los canales para

disminuir las posibles interferencias entre un AP cercano a otro (combinación de canales 1, 8 y 14 por ejemplo).

Gracias a esta técnica, se consigue aumentar el ancho de banda de la señal transmitida. De esta manera, la información ocupa una pequeña parte del ancho de banda total de la señal, por lo que la interferencia producida a la información real de una trama se ve reducida en gran medida. La Figura 9 muestra el procedimiento utilizado para llevar a cabo la técnica descrita.

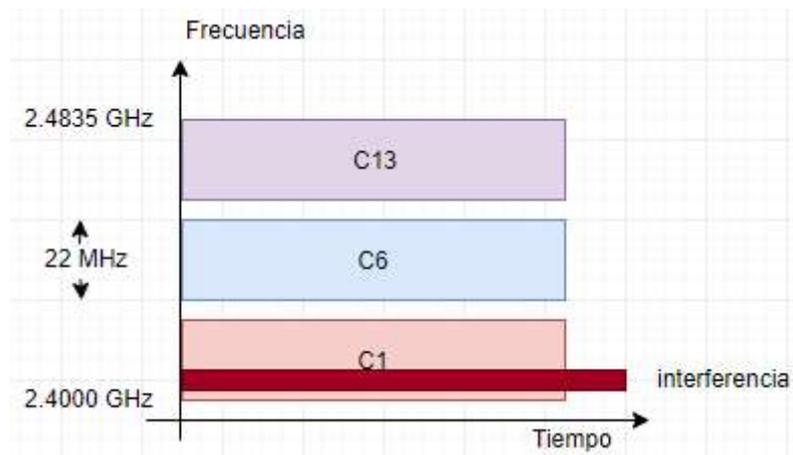


Figura 9: Procedimiento seguido al utilizarse la técnica DSSS

Las modulaciones utilizadas al utilizar este método de transmisión pueden ser:

- **Diferential Quadrature Phase Shift Keying (DQPSK):** Utilizada en el estándar 802.11b y 802.11g, con tasas binarias de 2 Mbps para 802.11g.
- **Diferential Binary Phase Shift Keying (DBPSK):** Utilizada en el estándar 802.11b proporcionando una tasa binaria de 1Mbps.

Por último, la Figura 10 muestra los diagramas de bloques transmisor y receptor empleando esta técnica de transmisión.

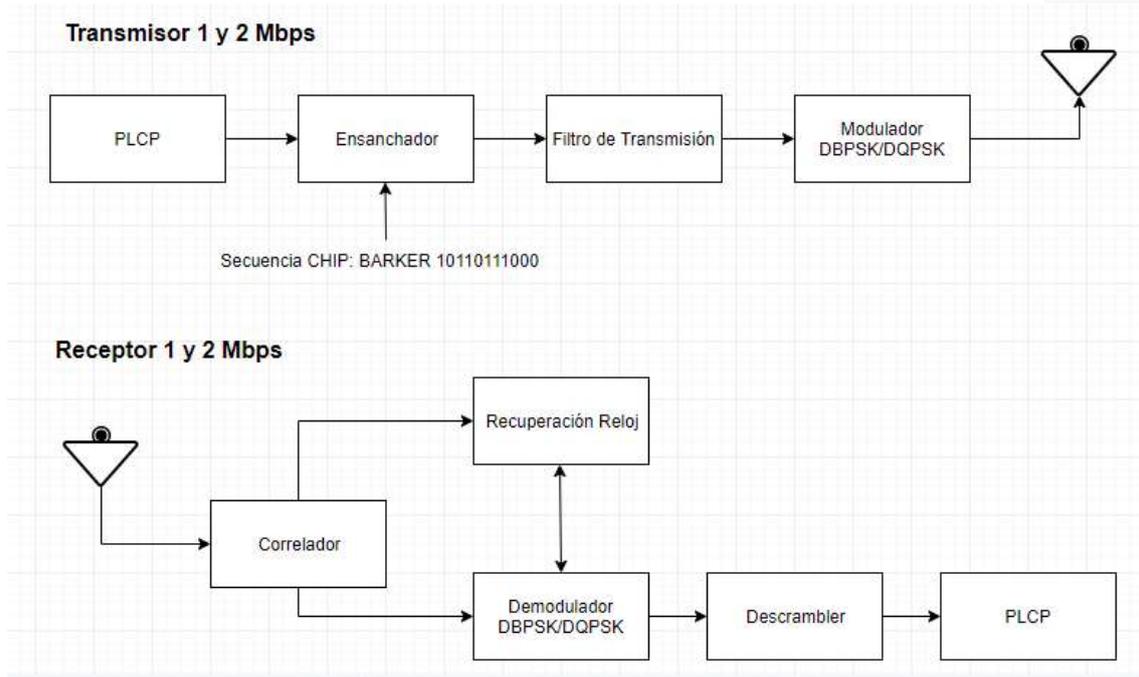


Figura 10: Esquemas transmisor y receptor al utilizar técnica de transmisión DSSS

### 2.1.2.3. Tecnología OFDM

La técnica **Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)** consiste en la transmisión simultánea de señales a través de un canal lineal y limitado en banda, de manera que la banda quede subdividida en distintos canales ortogonales y que cada uno de ellos se utilice para transmitir una portadora diferente. Cada subportadora es modulada utilizando una base ortonormal, de modo que cada subportadora sea ortogonal entre sí a las demás, evitando así interferencias entre ellas. Un ejemplo de base ortonormal ( $\psi_k$ ) se representa en la ecuación 1.

$$\psi_k(t) = \frac{1}{\sqrt{T}} e^{j2\pi f_k t} = \frac{1}{\sqrt{T}} (\cos(j2\pi f_k t) + j \cdot \text{sen}(j2\pi f_k t))$$

Ecuación 1: Ejemplo de base ortonormal de subportadoras OFDM

Donde  $t$  es el valor de tiempo en el cual se toma la muestra  $k$  (hasta las  $N$  muestras totales) de la señal analógica a modular y transmitir. La variable " $f_k$ " determina la frecuencia con la cual se hace el muestreo (toma de valores discretos en un período " $T$ ") de la señal analógica. En este punto es necesario tener en cuenta el criterio de Nyquist de muestreo de señal, el cual determina que se debe muestrear la señal analógica con una frecuencia de al menos dos veces la frecuencia máxima de operación de la señal original para poder recuperarla en base a las muestras discretas tomadas de la misma. También es necesario reseñar que no por realizar el muestreo de una señal cualquiera a una frecuencia mucho más rápida (por ejemplo, al triple de la frecuencia máxima), se obtiene algún tipo de ventaja respecto a utilizar la frecuencia de muestreo mínima,

necesaria y suficiente. Disponiendo ya de una base sobre la cual realizar el mapeo de símbolos a símbolos OFDM y teniendo en cuenta el criterio establecido en el muestreo de la señal, cada símbolo OFDM “s” transmitido se describe mediante la ecuación 2.

$$s(t) = \sum_{k=0}^{N-1} s_k \psi_k(t)$$

Ecuación 2: Símbolo OFDM formado en base a la subportadora k-ésima y a la base ortonormal compleja

Donde el producto de  $s_k$  y  $\psi_k(t)$  es el resultado del mapeo de las “ $s_k$ ” subportadoras en la base ortonormal correspondiente.

Las subportadoras de cada subcanal son moduladas y mapeadas en símbolos (BPSK, QPSK, 16-QAM, etcétera) y combinadas mediante la Transformada Rápida Inversa de Fourier (**IFFT**). Posteriormente, son enviadas al receptor. Después de esta combinación, en el lado del receptor se realiza la operación de Transformada Rápida de Fourier (**FFT**) a la señal obtenida y se extrae la amplitud de cada una de las subportadoras enviadas por el transmisor, algo que permite aumentar en gran medida el régimen binario de la señal. La Figura 11 muestra el tratamiento de las subportadoras OFDM mediante el diagrama de bloques de un transmisor que emplea esta técnica. Para el caso concreto de la tecnología 802.11, cada portadora, con su respectivo ancho de banda, se divide en 52 subportadoras. Cuarenta y ocho de ellas son destinadas a la transmisión de información útil, mientras que las cuatro restantes son utilizadas a modo de guía en la tarea de alineamiento de frecuencias.

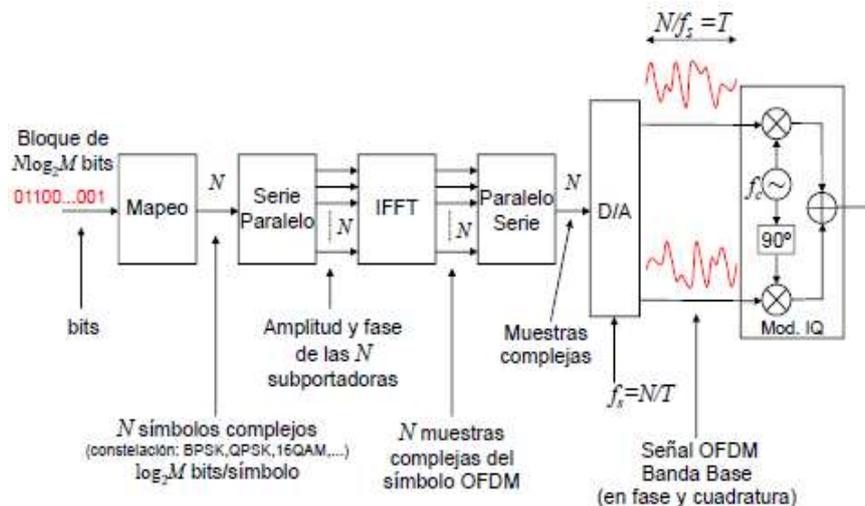


Figura 11: Diagrama de bloques de un transmisor OFDM

Las operaciones de modulado y demodulado de cada portadora, así como las operaciones IFFT y FFT deben ser realizadas fuera de lo que se conoce como **intervalo de guarda**. Este intervalo de tiempo permite la mitigación de Interferencia Inter-Simbólica de la señal (**ISI**). Además, si a cada trama OFDM se le añade una réplica del

final del símbolo OFDM asociado a esa trama, se logra mitigar también la Interferencia Inter-Canal (**ICI**).

Debido al gran procesado de señal que necesita la utilización de esta técnica, es necesario mencionar ciertas desventajas que estarán presentes a la hora de llevar a cabo este tipo de comunicaciones. La primera de ellas es la pérdida de eficiencia causada por la necesidad de implementar tiempos de guarda y portadoras piloto y DC y codificación convolucional, ya que no aportan información útil de la señal y contribuyen al consumo de potencia de igual manera que las subportadoras destinadas al intercambio de información.

Una de sus múltiples ventajas es que la robustez de las comunicaciones llevadas a cabo mediante técnicas OFDM es notablemente superior a otras técnicas, ya que la Tasa de Error de Bit (**BER**) se reduce considerablemente, haciendo de esta técnica una candidata perfecta en sistemas que necesiten de una alta fiabilidad. Además, es altamente compatible con los estándares MIMO, ya que con cada antena transmisora y receptora se podrían repartir las diferentes subportadoras entre los diferentes “*streams*”, de manera que el régimen binario del sistema aumentaría linealmente en función del número de antenas en transmisión y recepción.

Una vez estudiadas las diferentes alternativas de capa física en señales IEEE 802.11, se procede a realizar la revisión de las características de capa de enlace del mencionado estándar, donde se estudiarán aspectos tales como las técnicas de acceso al medio en 802.11 o los mecanismos de control del enlace llevados a cabo en este estándar.

### 2.1.3. Capa MAC en IEEE 802.11

El estándar IEEE 802.11 está destinado a tener una perfecta cohesión con su homólogo en redes cableadas (estándar Ethernet IEEE 802.3). Es por ello que la especificación de capa MAC en 802.11 debe ser muy precisa, ya que para un mismo AP deben coordinarse todos los usuarios que estén conectados a él, además de existir la posibilidad de que existan más redes 802.11 o puntos de acceso cercanos. Como se ha mencionado previamente, la capa MAC (capa física) debe estudiarse la interacción de las redes inalámbricas con las redes Ethernet que puedan formar parte de la misma red o subred.

En el ámbito del estándar 802.11, no es posible realizar mecanismos de detección de colisión (CSMA/CD) debido a que los APs no pueden escuchar el medio mientras transmiten. Esto es debido a que el canal 802.11 no es un medio full-dúplex al igual que Ethernet, sino que se trata de un canal half-dúplex y, por lo tanto, no se es capaz de transmitir y recibir datos al mismo tiempo, lo que hace que detectar una colisión de tramas e informar de ella sea del todo imposible.

Como alternativa, el modelo propuesto en 802.11 es el **CSMA/CA** mediante función de coordinación distribuida (**DCF**, detallada a continuación), donde en lugar de detectar las

colisiones, éstas tratan de evitarse con técnicas que serán detalladas en las siguientes líneas de este apartado del proyecto (por ejemplo, el envío de tramas de control tales como **Acknowledgment (ACK)**). Además de este modelo, se propone también (de manera opcional) el modelo de función de coordinación puntual (**PCF**), donde el canal es controlado en el tiempo para evitar las colisiones. Una de las principales características de este último mecanismo es que el grado de QoS aumenta en cierta medida.

Por último, otro de los factores a tener en cuenta a la hora de estudiar las características de capa de enlace en 802.11 es el llamado “**problema del nodo oculto**”, explicado en detalle a continuación. A grandes rasgos, este problema se traduce en que los APs de una red en concreto no son capaces de identificarse entre sí a la hora de transmitir tramas a los usuarios conectados a la red de la que forman parte esos APs.

En lo que se refiere al formato de trama presente en los intercambios de datagramas para la tecnología IEEE 802.11, este es representado en la Figura 12.

### 802.11 Cabecera MAC (WLAN)

Control de trama	ID Duración	Dirección 1	Dirección 2	Dirección 3	Control de secuencia	Dirección 4
2 Bytes	2 Bytes	6 Bytes	6 Bytes	6 Bytes	2 Bytes	6 Bytes

Figura 12: Formato de trama MAC en IEEE 802.11

La principal diferencia con el estándar Ethernet reside en la longitud de la trama. Al utilizar el estándar de comunicaciones 802.11 se necesita una mayor fiabilidad, ya que el medio utilizado sufre mayores variaciones que cualquier medio cableado. Por lo tanto, es necesario aumentar la robustez. Para ello, la trama MAC dispone del campo de control de trama, el cual se encarga de especificar los mecanismos de transmisión, gestión de retransmisiones y seguridad entre otros. La subdivisión del campo de control se muestra en la Figura 13.

Vers.	Tipo	Subtipo	Hacia DS	Desde DS	MF	Reint.	Pwr	Mas	W	O
2	2	4	1	1	1	1	1	1	1	1

Bits →

Figura 13: Campo de control de la trama MAC

La composición del campo de control se subdivide en 11 subcampos, los cuales se describen a continuación:

- Campo Versión: Contiene la información acerca de la versión del estándar IEEE 802.11 utilizada en un intercambio de tramas por parte de un dispositivo.
- Campos Tipo, Subtipo, Hacia DS y Desde DS: Establecen el tipo de trama transmitida (gestión, datos o control), siendo las tramas CTS (Clear to send) y RTS

(Ready to send) para control y datos y “To DS” o “From DS” solo para saber si la trama va hacia el AP o hacia la estación.

- Campo MF (More Fragment): Utilizado en tramas que necesitan fragmentación para poder ser transmitidas. Se indica con “1” la existencia de más fragmentos asociados a una trama y con un “0” lo contrario.
- Campo Retry: Determina si una trama en concreto (o fragmento de la misma) ha sido retransmitido por cualquier causa (timeout, colisión, mala calidad del enlace, etcétera...).
- Campo *Power Management*: Determina si existe control de emisión de potencia o ahorro energético en transmisión por parte de un punto de acceso.
- Campo Más Datos: Indica la existencia de tramas pendientes de transmitir desde o hacia el punto de acceso.
- Campo WEP: Determina la existencia de mecanismo de encriptado WEP en las tramas de datos.
- Campo Orden: Establece, como su propio nombre indica, el orden de los fragmentos de datos de una trama concreta con objeto de establecer en el receptor una correcta ordenación de los mismos.

Asimismo, el resto de campos que componen la trama MAC tienen como objetivo el correcto encaminamiento de las tramas. Los campos “Dirección” contienen las direcciones MAC en el orden MAC nodo final (1) – MAC nodo inicial (2) – MAC del punto de acceso (3) – MAC del dispositivo transmisor (4). Es necesario distinguir entre nodo inicial y nodo transmisor, ya que una trama puede ser enviada por un transmisor hacia un punto de acceso pero no llegar directamente al nodo final, sino ser redirigida a otro punto de acceso para llevarla hasta el nodo final, momento en el cual el punto de acceso intermedio tendría como MAC nodo inicial la del dispositivo que envió la trama en su origen y como MAC dispositivo transmisor la suya propia, al contrario que la trama observada desde el nodo emisor, donde coincidirían las direcciones MAC nodo inicial y MAC nodo transmisor.

Adicionalmente, la capa MAC establece el campo de “Duración” para establecer el tiempo completo que debe transcurrir al llevar a cabo un intercambio de tramas, incluyendo la confirmación de las mismas. De igual manera, para gestionar la fragmentación de las tramas, se establece el campo de control de secuencia, gracias al cual el receptor conoce el orden y la procedencia de las tramas recibidas. Los datos útiles de la trama son alojados en el campo “Cuerpo”, hasta un máximo de 1500 Bytes por trama (MTU). Si se supera esta longitud de datos, sería necesaria una fragmentación de la trama. Por último, la trama MAC dispone del campo FCS, gracias al cual se lleva a cabo

el chequeo de errores mediante la técnica “Checksum”, la cual es capaz de discernir si una trama se ha recibido correctamente o no.

A continuación, se procede a dar explicación a los diferentes mecanismos de capa de enlace para gestionar las operaciones y/o intercambios de información entre los usuarios que compartan un AP, además del ya mencionado problema del nodo oculto y cómo se lleva a cabo la solución a este inconveniente.

### 2.1.3.1. Problema del nodo oculto

Las redes inalámbricas presentan el inconveniente de operar dentro de un rango limitado de cobertura en función de diferentes parámetros. Es por ello por lo que en redes con varios puntos de acceso, puede ocurrir que un terminal necesite realizar el traspaso de una celda a otra. En el momento en el que las dos estaciones envíen una trama de datos al terminal en cuestión, es posible que las estaciones implicadas no consigan comunicarse. De este modo, ninguna de ellas sabrá cuando va a transmitir su homónima y viceversa, produciéndose así una colisión en la comunicación hacia el terminal. De igual manera, este suceso se ve reflejado en comunicaciones entre los diferentes terminales que pertenezcan a una red.

Para comprenderlo mejor, es necesario visualizar la Figura 14, la cual muestra una interpretación gráfica de este suceso.

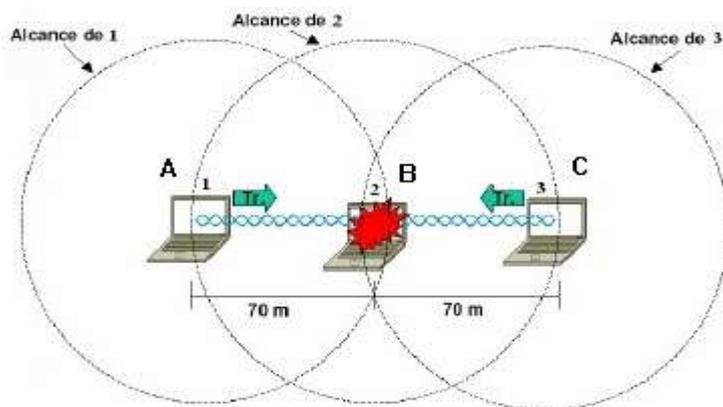


Figura 14: Escenario de nodo oculto en una red inalámbrica

- El terminal “A” quiere transmitir una trama a “B”. Detecta el medio libre y transmite.
- Mientras que “A” está transmitiendo, “C” quiere enviar una trama a “B”. Detecta el medio libre (ya que no alcanza a recibir notificación de que “A” también está transmitiendo) y transmite.

- Se produce una colisión en la intersección formada por el área que forman en común las coberturas de “A” y “C”, por lo que “B” no recibe ninguna de las dos tramas.

Para solucionar este problema, se llevó a cabo el desarrollo del protocolo de acceso basado en mensajes **RTS/CTS (Ready To Send / Clear To Send)**, el cual es llevado a cabo mediante el siguiente proceso:

Se dispone de los mismos tres terminales mostrados en la Figura 14. El terminal “A” antes de transmitir, envía un mensaje RTS con el cual notifica su intención de enviar información cierta cantidad de información (n) hacia “B”. El terminal “B” responde al RTS enviado por “A” con un mensaje CTS, que contiene la cantidad de bytes mencionada anteriormente. “A” comienza la transmisión de sus “n” bytes y simultáneamente, “C” desea transmitir información hacia “B”. El nodo “C” no ha logrado captar el RTS enviado por “A”, pero sí ha recibido el CTS enviado por “B” el cual contiene la cantidad “n” de bytes que espera recibir. Gracias a ello “C” sabe que no debe transmitir durante el tiempo en que esos bytes se están transmitiendo, lo que pone solución a este inconveniente.

### 2.1.3.2. Mecanismo de acceso DCF

Debido a la existencia de una cantidad de usuarios para un mismo punto de acceso, es necesario llevar a cabo una gestión del acceso al medio compartido por todos los usuarios hacia una misma estación 802.11. A ello se añade el problema de disponer de un canal half-dúplex para la transmisión y recepción de datos y tramas de gestión. Fue por ello que se planteó el mecanismo **DCF (Distributed Coordination Function)**.

Para abordar la explicación del proceso de esta técnica, es necesario definir las cantidades temporales que es necesario esperar para transmitir, con el objetivo del buen funcionamiento y gestión del acceso al medio. Estos tiempos son denominados “**IFS (Inter Frame Space)**” y se distribuyen según:

- **Tiempo de Slot:** Aunque a nivel de enlace no se produzca un ranurado del tiempo como tal, en este caso se denomina slot de tiempo a la fragmentación de un bloque temporal en el intercambio de tramas. Su duración es de **20 μs**.
- **SIFS (Short Inter Frame Space):** Es el período de tiempo utilizado como referencia para la transmisión de tramas prioritarias. Se consideran como prioritarias las tramas de control de conexión o **Acknowledge (ACK)** o de chequeo de terminal oculto (**RTS/CTS**). Además, también considera como prioritarias aquellas tramas que ya se estén transmitiendo. Es por ello por lo que presentan el menor valor temporal de todas (**10 μs**).[8]

- **Tiempo de Backoff o contienda (CW):** Se trata de un tiempo de espera adicional y aleatorio (entre 0 y 1024 unidades) con objeto de reducir la probabilidad de que haya colisión en transmisiones y sus posibles retransmisiones en caso de haberlas. Su duración es el resultado de multiplicar el número de CW por un tiempo de Slot.
- **DIFS (DCF Inter Frame Space):** Es el tiempo que una estación debe esperar como mínimo antes de realizar una transmisión de datos. Al ser mucho mayor en duración que el tiempo SIFS, se evitan colisiones entre tramas de datos y tramas de gestión de la conexión, ya que estas últimas únicamente esperan 10  $\mu$ s en ser atendidas. Por otra parte, las tramas de datos esperan un tiempo DIFS hasta saber si el medio está ocupado y, si lo está, deberá esperar adicionalmente el tiempo de Backoff. Su duración es de **50  $\mu$ s**.

Teniendo estos tiempos en cuenta, se plantea el siguiente escenario:

Una estación "A" desea transmitir datos tras haber hecho una escucha del canal. Antes de ello, debe esperar como mínimo un tiempo DIFS y como máximo un tiempo DIFS más un tiempo de Backoff si el canal está ocupado por una transmisión de otra estación "B".

Tras esta espera, la estación "A" comienza a transmitir datos hacia el AP. Cuando termina de enviar todo, el punto de acceso espera un SIFS hasta confirmar la recepción de los datos con un ACK, que es enviado de nuevo a "A" para dar lugar al fin de su transmisión. La conclusión de este apartado se resume en la Figura 15, la cual muestra una interpretación gráfica del escenario descrito.

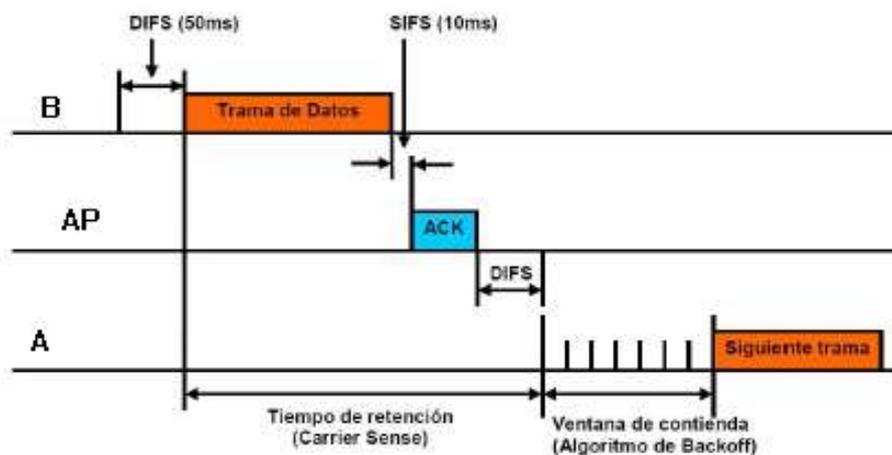


Figura 15: Proceso de espera en transmisiones DCF

### 2.1.3.3. Mecanismo de acceso PCF

El mecanismo de acceso **Point Coordination Distribution (PCF)** se planteó en su origen debido a que el mecanismo DCF no asegura un buen grado de Calidad de Servicio (QoS).

Al utilizar esta técnica, un transmisor puede ahorrarse el período de contienda para acceder al medio cuando lo necesite. De esta forma, el mecanismo PCF es útil a la hora de llevar a cabo servicios con requisitos de tiempo real (VoIP, vídeo, streaming, etcétera...). Se trata de un mecanismo de uso opcional en el que en la actualidad no existen muchos productos comerciales que lo implementen.

Para la gestión del acceso al medio, un Punto de Coordinación (**PC**) localizado en el AP se encarga de dividir el canal en:

- **Períodos libres de Contención:** El acceso al canal es controlado por el PC, el cual espera un tiempo **PIFS** (menor que el DIFS), tras el cual envía una trama sonda o “*beacon*” a los diferentes terminales capaces de operar con mecanismo PCF y que se encuentren conectados al PC, concediéndole así el permiso de la transmisión a uno de ellos. Existe un listado de terminales capaces de operar con técnica PCF que determina el orden de transmisión de cada uno de ellos contenida en el campo CF (Contention Free) de la trama. Por lo tanto, cada terminal enviará una trama cada turno (y solamente una)
- **Períodos de contención:** Cuando el canal se encuentra ocupado, el mecanismo utilizado vuelve a ser el DCF. Esté período de contención dura como mínimo el tiempo necesario para la transmisión de una MTU (Unidad de Transferencia Máxima) y de su correspondiente ACK.

Finalmente, es necesario mencionar que los mecanismos PCF y DCF son capaces de operar juntos en el mismo AP mediante una extensión de trama. Un fragmento es utilizado para la asignación del período de contienda para el caso de terminales que únicamente operen en con DCF.

### 2.1.3.4. Mecanismo de acceso CSMA/CA

A diferencia del sistema de acceso al medio presente en redes Ethernet (IEEE 802.3), como ya se ha mencionado previamente, el protocolo IEEE 802.11 presenta el inconveniente de no disponer de una canal de comunicaciones full-dúplex. Por lo tanto, las estaciones no pueden escuchar al medio para determinar si otra estación se encuentra transmitiendo a la vez que se transmiten tramas de datos (acceso al medio CSMA/CD utilizado en Ethernet). Así, fue necesario acudir a la técnica descrita en este apartado: el **CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance)**.

La alternativa que ofrece este tipo de técnica de acceso se resume en que en lugar de realizarse una detección activa de las colisiones (entendiéndose por ello las

apreciaciones de forma activa de diferencias abruptas entre la señal tras el canal y la enviada por el transmisor, momento en el cual se supone colisión, se informa a las demás estaciones de ella y se retransmite en base a un tiempo aleatorio), se lleva a cabo la evasión de colisiones.

El proceso de este mecanismo es el descrito en la Figura 15 ya que es el mecanismo de acceso al medio al utilizar la técnica DCF. Una vez concluido el capítulo de capa física en IEEE 802.11, se procede a realizar la revisión de las evoluciones más importantes del estándar.

## 2.2. Estándar IEEE 802.11g

Esta versión del estándar Wi-Fi resultó de la revisión de su predecesor el estándar 802.11b. De esta manera, los productos que utilizan este tipo de tecnología, eran compatibles con aquellos que funcionasen con el estándar 802.11b.

La frecuencia de operación es la misma que la de su predecesor (banda de 2.4 GHz) y puede alcanzar tasas binarias de hasta 54 Mbps si se utilizan técnicas OFDM en la transmisión de los datagramas de capa MAC.

Los equipos que adoptan la especificación 802.11g fueron lanzados comercialmente antes de la publicación definitiva de este estándar, gracias a la presencia de su predecesor (IEEE 802.11b), el cual opera en la misma banda de trabajo y es fácilmente adaptable a este posterior estándar. A partir del 2005, casi todos los dispositivos disponibles en el mercado del ámbito de comunicaciones inalámbricas llevan asociado este estándar 802.11g, resaltando su compatibilidad con 802.11b.

Uno de los requisitos para llevar a cabo comunicaciones en base al estándar 802.11g es el uso de un **preámbulo corto**. Al estar completamente desarrollado el estándar 802.11b, el grupo de desarrollo del estándar notificó que el tiempo dedicado a la transmisión de la cabecera **PLCP (Physical Layer Convergence Procedure**, encargada de enlazar las capas física y de enlace) era demasiado largo, por lo que se optó por la utilización de este preámbulo corto. Este tiempo es útil para la sincronización ya que permite la utilización de los estándares 802.11b y 802.11g de manera simultánea al ser igual en tamaño para ambos estándares. Además, el hecho de ser un corto período de tiempo evita en gran medida el número de colisiones en las comunicaciones.

Otro de los requisitos para la utilización de este estándar, es la división de capa física en cuatro subcapas diferentes. Como se ha mencionado previamente, el uso de diferentes técnicas de capa física más capa de enlace puede permitir un aumento en la tasa binaria del sistema. Las diferentes configuraciones de las capas que conforman las comunicaciones en el estándar 802.11 son las siguientes:

- **ERP-DSSS/CCK**: Las siglas ERP (Extended Rate Physicals) hacen referencia a cada una de las cuatro subcapas que se definen en este apartado. La técnica de capa

física empleada es la descrita en el capítulo 2, sección 1.2.2 (DSSS). El uso de esta técnica es obligatorio para el estándar 802.11g, dota de velocidades de trabajo de 1, 2, 11 y 55 Mbps.

- **ERP-OFDM:** Esta capa es introducida gracias a las ventajas observadas en la utilización de técnicas OFDM en el estándar 802.11a. En el caso particular de este estándar, se utilizan 8 modos OFDM, lo que permite obtener unas velocidades de trabajo de 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48 y 54 Mbps. El uso de esta técnica también es obligatorio para 802.11g.
- **ERP-PBCC:** Se utilizan códigos convolucionales de manera similar que en el estándar 802.11b. Para 802.11g se utilizan códigos más robustos y con mayores tasas de codificación, algo que permite transmitir a velocidades de 5.5, 11, 22 y 33 Mbps.
- **DSSS-OFDM:** Se trata de una técnica híbrida que utiliza técnicas DSSS para la transmisión de la cabecera de la trama 802.11 y OFDM para la transmisión de los datos de la trama. Permite velocidades de 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48 y 54 Mbps.

Por último, es necesario esclarecer que la compatibilidad entre los productos 802.11b y 802.11g es unívoca al utilizarse técnicas OFDM en el caso de 802.11g. De esta manera, una trama 802.11b podría ser interpretada por cualquier dispositivo operando en base al estándar 802.11g, pero en el caso de que un dispositivo 802.11g utilice técnicas de transmisión OFDM, otro dispositivo operando en base a 802.11b no podría establecer comunicación con el dispositivo citado previamente.

## 2.3. Estándar 802.11n

Se trata del estándar más adoptado hoy en día por los dispositivos comerciales. El grupo de trabajo de este estándar surge en septiembre de 2003 con el objetivo de mejorar a sus predecesores (estándares 802.11a/b/g) en cuanto a rendimiento y prestaciones. Posteriormente, se produjo un largo proceso burocrático en los procedimientos de desarrollo del estándar. Se analizaron hasta 5 propuestas diferentes para este estándar, aunque todas ellas tenían las siguientes características en común:

- Canales con ancho de banda de 40 MHz
- Empleo de técnicas MIMO
- Mejoras en la capa MAC

Gracias a la utilización de canales con el doble de ancho de banda que en estándares anteriores (40MHz), permite duplicar la tasa binaria presente en los antiguos canales de 20 MHz. La combinación de estas técnicas (descritas más en detalle a continuación)

permitían aumentar el throughput de datos de 54 Mbps a un máximo de 600 Mbps, algo que mejora en gran medida el rendimiento de los sistemas inalámbricos.

Tras una fase de bloqueo, se acuerda una propuesta común en el año 2006 para ser aprobada como estándar ya en el año 2009. A continuación, se procede a analizar las mencionadas mejoras y las técnicas llevadas a cabo para implementarlas.

### 2.3.1. MIMO y “beamforming”

La técnica **MIMO (Multiple Input – Multiple Output)** es una tecnología que permite el intercambio coherente de información entre un terminal y una estación mediante el uso de varias antenas en transmisión y recepción. Existen también las variantes **SIMO** y **MISO**, en las cuales el transmisor dispone de una antena y el receptor de varias o viceversa respectivamente.

Las ventajas que ofrece el llevar a cabo comunicaciones utilizando técnicas MIMO se traducen en los diferentes tipos de ganancia obtenida al aprovechar diferentes flujos de datos (“streams”) para la transmisión de un datagrama, siendo estos:

- **Multiplexación por división espacial (SDM):** Supongamos un sistema 802.11n MIMO con N antenas en transmisión y M antenas en recepción. Se divide la señal entre las N antenas en transmisión y se transmiten por diferentes caminos o “streams” espaciales. Al utilizar el mismo espectro con diferentes caminos para los datos, la capacidad se incrementa en función del mínimo número de antenas disponibles en transmisión y recepción. Esto quiere decir que si disponemos de un sistema MIMO 2x3 (2 antenas en transmisión y 3 en recepción) como mucho, podremos aprovechar dos caminos diferentes para transmitir, y por tanto se doblará la capacidad del sistema. La Figura 16 representa el concepto de **ganancia de multiplexado** en función de la SNR disponible en un sistema de comunicaciones MIMO. Esta ganancia resulta ser la pendiente (que coincide con el número mínimo de antenas del sistema MIMO) al aumentar la relación señal a ruido del sistema.

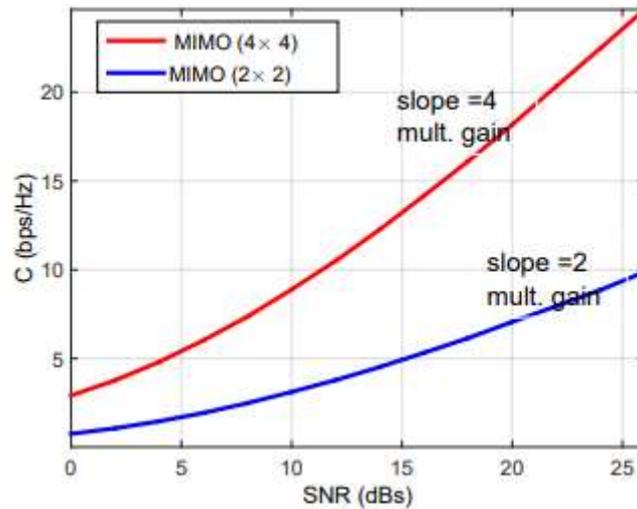


Figura 16: Ganancia de multiplexado para sistema MIMO 2x2 (azul) y 4x4 (rojo)

- **Ganancia en diversidad:** Es la pendiente negativa que presenta la tasa de error de bit en una determinada transmisión en función de la relación señal a ruido observada. El objetivo de este concepto es explotar la fiabilidad del sistema. Para conseguirlo, se aprovechan los “streams” espaciales para mandar diferentes versiones codificadas (STBC) de la señal. En un sistema MIMO NxM la máxima ganancia en diversidad accesible es el número de antenas en transmisión por el número de antenas en recepción. La Figura 17 representa este concepto con el ejemplo de canal SISO frente a un canal MIMO 2x2.

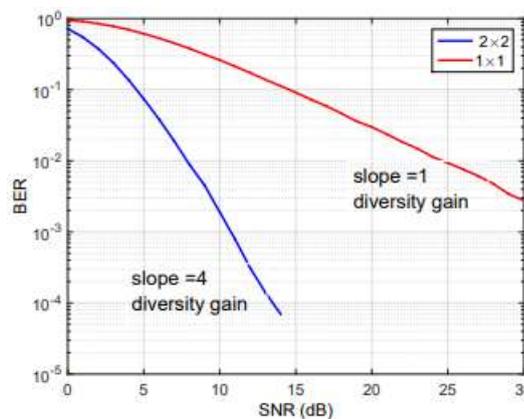


Figura 17: Ganancia en diversidad para sistema SISO (rojo) y sistema MIMO 2x2 (azul)

- **Ganancia en array:** Esta característica se traduce en el aumento de relación señal a ruido al utilizar varias antenas para transmisión y recepción. Para entenderlo mejor, se propone el siguiente ejemplo:

Supongamos que disponemos de un sistema SISO con un transmisor emitiendo con una potencia  $P$  en un canal de ancho de banda  $W$  ( $2W$  a efectos prácticos para el cálculo de potencia de ruido) y una densidad espectral de ruido de valor  $N_0/2$ . La señal es enviada a través de un canal Rayleigh con módulo  $|h|^2=1$ . De esta manera, el valor de relación señal a ruido resulta:

$$SNR_{siso} = \frac{P_{Tx}}{\frac{N_0}{2} \cdot 2W} \cdot |h|^2 = \frac{P_{Tx}}{N_0 \cdot W} \cdot |h|^2$$

Supongamos ahora el escenario SIMO mostrado en la Figura 18, donde hay 1 antena en transmisión y 3 antenas en recepción. para cada stream direccional se aplica el criterio MRC (Maximum Ratio Combining) y el “beamformer” óptimo  $\mathbf{w} = \frac{\mathbf{h}^*}{|\mathbf{h}|}$  (concepto de “beamforming” detallado a continuación del ejemplo) para cada canal presente entre la antena transmisora y las receptoras. En este caso,  $\mathbf{h}$  es el vector que contiene el valor del módulo de los tres diferentes canales que componen el sistema [ $\mathbf{h}_1 \mathbf{h}_2 \mathbf{h}_3$ ].

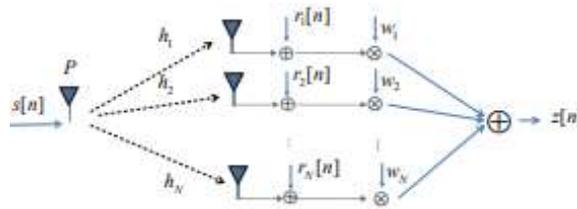


Figura 18: Escenario SIMO 1x3 ejemplo de ganancia de array

En este caso, el valor de relación señal a ruido resulta ser:

$$SNR_{simo} = \frac{P_{Tx} \cdot E[|\mathbf{w}^T \cdot \mathbf{h}|^2]}{N_0 \cdot W} = \frac{P_{Tx} \cdot [|\mathbf{h}|^2]}{N_0 \cdot W} = \frac{P_{Tx} \cdot 3}{N_0 \cdot W}$$

El valor de SNR en recepción para este sistema se ha visto aumentado por un factor de 3 (el equivalente a 4.77 dB de señal). Para el caso general con N antenas en transmisión y M en recepción, la ganancia en array (AG) se puede expresar como:

$$1 \leq AG \leq (\sqrt{N} + \sqrt{M})^2$$

De esta manera, se obtiene una mejora en la relación portadora a ruido de la señal sin necesidad de transmitir con mayor potencia, simplemente repartiéndola entre las antenas disponibles y dirigiéndola mediante técnicas de “beamforming”, se puede mejorar de forma notable el rendimiento de un sistema 802.11.

Una vez detalladas las diferentes técnicas MIMO y sus ventajas, es necesario describir el concepto de “beamforming” ya mencionado con anterioridad. Para abordar el concepto, es necesario detallar algunos conceptos previos.

En un sistema MIMO, los diferentes “streams” de datos atraviesan un canal al cual asignaremos un valor matricial  $\mathbf{H}$  en función del número de antenas (NxM) de las que el sistema disponga. El paso de los diferentes “streams” de la señal por los diferentes NxM canales puede hacer que los “streams” se distorsionen lo suficiente como para que no puedan recibirse correctamente. Lo que la técnica de “beamforming” pretende lograr es compensar de alguna manera el paso de las señales por los canales mediante una

estimación del valor de cada canal antes de transmitir la señal y de esta manera, escalar la señal para que sufra la mínima distorsión posible al atravesar el canal.

Para el caso MIMO se ha demostrado que la opción óptima para hacer “*beamforming*” a los diferentes “*streams*” de datos es realizar la descomposición en valores singulares (SVD) de la matriz del canal **H** y escalar tanto la señal transmitida como la señal recibida con los autovectores extraídos de la descomposición SVD.

Para concluir con el estándar 802.11n y sus nuevas características introducidas, la tabla 2 muestra las diferentes configuraciones que puede adoptar y las tasas binarias que éstas podrían llegar a ofrecer en los mejores casos (máximo 4 “*streams*” espaciales):

Tabla 2: Configuraciones 802.11n en función de modulación, número de “*streams*” y ancho de banda del canal

Índice MCS	Streams espaciales	Tipo de modulación	Tasa de codificación	Tasa binaria (Mbit/s)			
				Canal de 20 MHz		Canal de 40 MHz	
				IG de 800 ns	IG de 400 ns	IG de 800 ns	IG de 400 ns
27	4	16-QAM	1/2	104,00	115,60	216,00	240,00
28	4	16-QAM	3/4	156,00	173,20	324,00	360,00
29	4	64-QAM	2/3	208,00	231,20	432,00	480,00
30	4	64-QAM	3/4	234,00	260,00	486,00	540,00
31	4	64-QAM	5/6	260,00	288,80	540,00	600,00

## 2.4. Estándar 802.11ac

Este estándar es la evolución natural del estándar de la anterior subsección (802.11n). Trabaja exclusivamente en la banda de 5 GHz y tiene la ventaja de que la mayoría de redes 802.11 desplegadas trabajan en la banda de 2.4 GHz, evitando así un gran número de interferencias por parte de otros usuarios.

Además de ello, otra de las evoluciones reflejadas en este estándar es el mayor ancho de banda por canal disponible, pasando de los 40 MHz del estándar 802.11n a 80 ó 160 MHz. El uso de canal más empleado es el de 80 MHz (2 canales de 40 MHz adyacentes), por lo que el número de canales disponibles en Europa para este estándar será de 4.

Adicionalmente, los sistemas 802.11ac son capaces de trabajar empleando técnicas **MU-MIMO (Multi-User MIMO)** de hasta 8 “*streams*” de datos por cada usuario. Esta tecnología es la evolución de la tecnología MIMO y en ella las múltiples antenas de la estación transmisora se conectan de forma independiente a las antenas de los diferentes APs disponibles (cada uno con sus múltiples antenas). Cabe mencionar que los AP deben estar perfectamente coordinados, empleando técnicas de acceso como SDMA (Space Division Multiple Access) para llevar a cabo la gestión de los diferentes “*streams*” recibidos por parte de los usuarios en los diferentes puntos de acceso.

Gracias a todos estos avances, el estándar 802.11ac permite velocidades de transmisión de hasta 1 Gbps entre usuarios (dependiendo de la distancia entre ellos, el número de obstáculos, interferencias, etcétera), lo que hace de esta tecnología la idónea para servicios de altas prestaciones tales como *streaming* de vídeo de alta calidad, programas que precisen requisitos de tiempo real (juegos en red o aplicaciones de baja latencia) o transferencia de grandes volúmenes de datos.

La tabla 3 muestra el rendimiento máximo que puede llegar a proporcionar la tecnología 802.11ac en función del ancho de canal utilizado.

Tabla 3: Rendimiento del estándar 802.11ac

Versión IEEE 802.11	Lanzamiento	Frecuencia	Tasa de datos (Mbps)	Ancho de banda (MHz)	Flujos MIMO	Rango aproximado en interiores (m)	Rango aproximado en exteriores (m)
ac	Diciembre 2012	5 GHz	Hasta 97,6	20	8	100	-
			Hasta 200	40			
			Hasta 433,3	60			
			Hasta 966,7	80			

En este momento se concluye con la revisión de las tecnologías Wi-Fi disponibles y que posteriormente, en el siguiente capítulo, serán analizadas como casos de uso del proyecto, así como el comportamiento de las mismas en el escenario planteado.

## Capítulo 3 - Estudio superficial y simulaciones de la infraestructura

### 3.1. Requisitos y restricciones del proyecto

Tal y como se ha mencionado en el primer capítulo del proyecto, el Aeropuerto Seve Ballesteros – Santander pretende ampliar su red inalámbrica más allá del edificio terminal del aeropuerto para dar servicio también a las personas ubicadas en el aparcamiento público situado enfrente del edificio. Se trata de una superficie de aproximadamente 40.000 m<sup>2</sup> distribuida en 3 zonas de similar arquitectura cubiertas parcialmente (en las zonas donde hay plazas de aparcamiento y zona destinada a circulación de peatones) por marquesinas cuya cubierta es de chapa grecada formada por perfil 0,6 mm. de espesor en perfil comercial, galvanizado Z-275 y prelacado inferior y superior de poliéster de silicona 25 micras, algo que será necesario tener en cuenta a la hora de realizar las simulaciones, ya que se podrían producir reflexiones indeseadas en las señales 802.11. La Figura 19 muestra una imagen tomada de la aplicación “Google Maps” de la superficie de aparcamiento público del aeropuerto a modo de ejemplo gráfico.

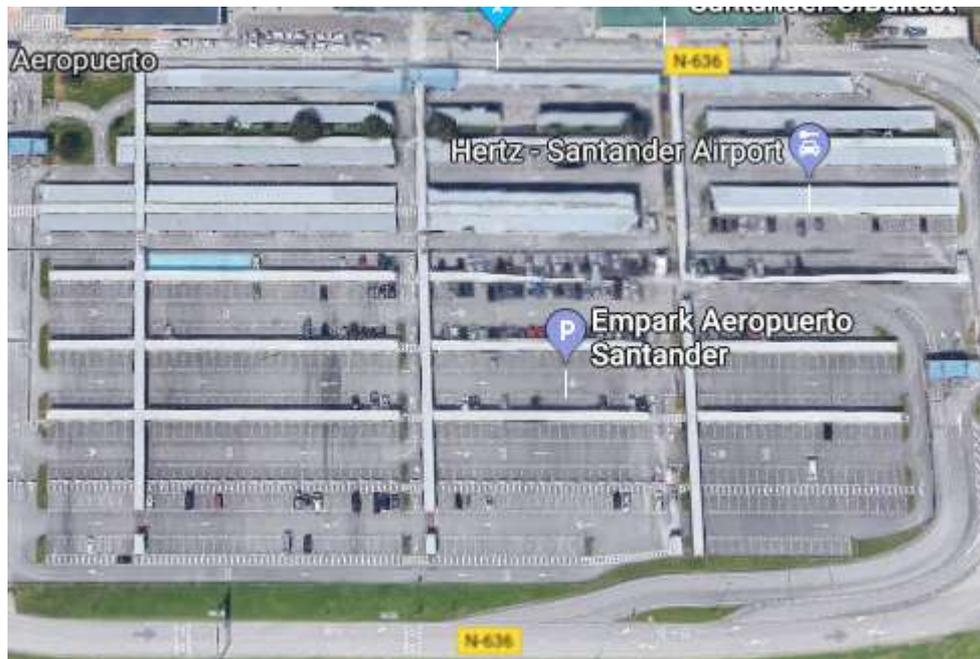


Figura 19: Imagen satélite de la superficie del Aeropuerto Seve Ballesteros - Santander

La afluencia anual para el pasado año 2018 fue de 1.103.353 personas (una media de aproximadamente 3000 pasajeros al día, sin tener en cuenta personas acompañantes y el uso de la red por parte de los empleados de AENA). De esta manera, la estimación prevista de potenciales usuarios de la red desplegada se determinará en un 10% de la media anual (300 usuarios teniendo en cuenta pasajeros, acompañantes y empleados) y en función de ello se realizará el dimensionado de la red determinando el número de puntos de acceso necesarios, cableado, canalizaciones, etcétera.

El aeropuerto ya dispone de una red informática propietaria que cuenta con los accesos a internet correspondientes, además de la electrónica de red necesaria para transportar

el tráfico de red desde los puntos de acceso disponibles en el interior del edificio hasta su destino. Todo ello está ubicado en el CPD y diferentes centros de cableado del edificio terminal del aeropuerto, donde entre otros elementos que componen la red se pueden encontrar las controladoras de red, los switches y los servidores y BBDD que gestionan y monitorizan, a la vez que dotan de seguridad a las diferentes subredes desplegadas por toda la superficie del edificio.

Gracias a ello, la incorporación de nuevos puntos de acceso destinados a dar servicio a los usuarios ubicados en la zona de aparcamiento público se ve facilitada en gran medida, ya que las configuraciones de los servidores que gestionan la red, las bases de datos de red y los mecanismos de seguridad y firewall ya están diseñados. Además, los intercambios de tráfico de red entre los puntos de acceso e Internet pueden ser gestionados por las controladoras Wi-Fi ya existentes. En líneas posteriores se evaluarán las ventajas e inconvenientes presentes en dos escenarios. El primero de ellos es el comentado en las líneas precedentes (aprovechar la infraestructura de red ya desplegada). En el segundo caso, se dividiría la zona del aparcamiento público en otra subred, por lo que sería necesario adquirir una controladora que gestione el tráfico de red de la subred del aparcamiento, con todas las configuraciones que ello conlleva en los dispositivos que conforman la electrónica de red.

Otro aspecto a tener en cuenta para el despliegue y el uso de la infraestructura de red es la disponibilidad del servicio. Al tratarse de una red desplegada en un aeropuerto, zona en la que hay un gran número de vuelos en casi todas las franjas horarias del día, resulta lógico establecer una disposición del servicio las 24 horas para los usuarios que lo necesiten. A continuación, se procede a realizar una revisión de las características de la zona de aparcamiento público del aeropuerto, con objeto de conocer y establecer las potenciales ubicaciones de los puntos de acceso que darán servicio a los clientes.

## 3.2. Características del terreno

El aeropuerto está ubicado en la localidad de Maliaño (Cantabria), más en concreto en la zona de Parayas. La estructura del aeropuerto está completamente orientada en línea oeste-este geográfico con objeto de aprovechar las rachas de viento a la hora de realizar despegues y aterrizajes en sus vuelos. Gracias a la colaboración de AENA en este proyecto, se dispone de los planos de las instalaciones aeroportuarias para conocer detalladamente la organización de las mismas, así como las dimensiones de los emplazamientos que competen a este proyecto. La Figura 20 muestra las imágenes de los planos utilizando el programa AutoCad, el cual ofrece la ventaja de establecer cotas con el fin de obtener las dimensiones exactas de la superficie.

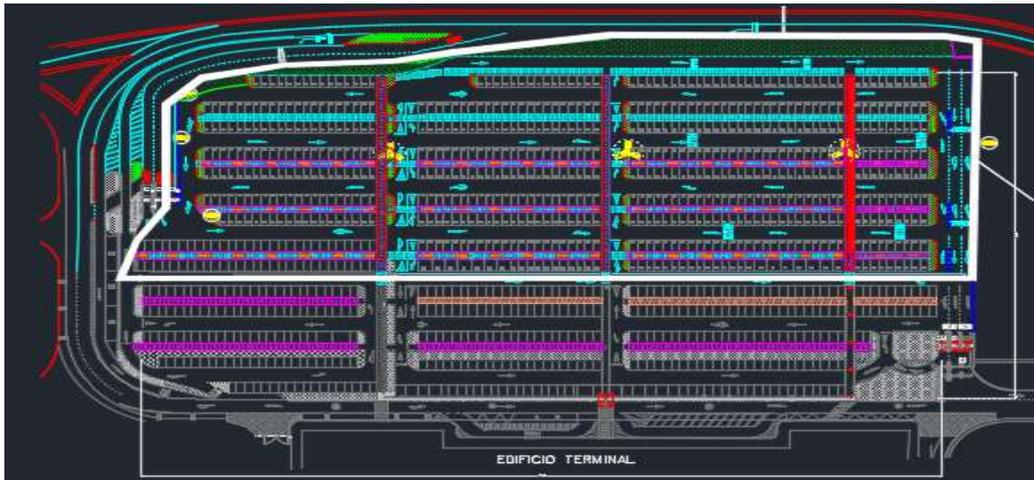


Figura 20: Plano de planta de la superficie del aparcamiento público del aeropuerto

Las cotas establecidas se encuentran tanto en la parte inferior como en el lateral derecho del plano. Éstas, después de ser establecidas, han dado como salida los siguientes parámetros:

- Longitud de la superficie (eje x): 241 metros
- Altura de la superficie (eje y): 130.5 metros

Por lo tanto, el área total que necesita ser dotada de conexión Wi-Fi es de **31500 m<sup>2</sup>**.

La zona destinada al aparcamiento de vehículos está parcialmente a la intemperie (en las zonas destinadas a la circulación de vehículos, zona gris oscuro con flechas de sentido del tráfico en la Figura 18), existiendo zonas cubiertas por marquesinas de acero galvanizado justo encima de las plazas de aparcamiento, así como las zonas peatonales. Estas marquesinas disponen de conexión a la red eléctrica y de iluminación, algo que supone una gran ventaja a aprovechar a la hora de alimentar los puntos de acceso. Las marquesinas están sujetas por postes también de acero y resultan ser potenciales ubicaciones de los puntos de acceso debido a la buena distribución de los mismos a lo largo de todas las filas de marquesinas, lo que podría suponer en un futuro la ubicación de más puntos de acceso si los requisitos fuesen lo suficientemente exigentes como para ampliar la infraestructura. Para concluir, la Figura 21 muestra la disposición de una zona de las zonas que cuenta con los elementos previamente mencionados y que son potenciales candidatos a ser los emplazamientos de los puntos de acceso de la red.



Figura 21: Disposición de las marquesinas y postes de acero en las zonas de aparcamiento público

### 3.3. Implementación de planos en el software de simulación

El software de simulación de entornos electromagnéticos utilizado para llevar a cabo este proyecto es “**Altair FEKO and WinProp**”, herramienta utilizada por profesionales del sector IT y muy potente a la hora de desarrollar infraestructuras de red, ya que ofrece, además de los niveles de señal electromagnética en cada punto del área de evaluación, parámetros tales como throughput en los distintos puntos del parking y mejores puntos de acceso a los que conectarse en función de la posición del usuario.

El software engloba dos tipos distintos de entorno de simulación. El primero de ellos está destinado a diseño de antenas transmisoras (dipolos, yagi, sectoriales, omnidireccionales, “arrays” de antenas “*beamformer*”, etcétera). El segundo es el que realmente interesa a la hora de llevar a cabo las simulaciones de propagación de señal, ya que el software “*WallMan*” es capaz de procesar los planos del aeropuerto (en formato “.dxf”) y trnsformarlos en una base vectorial de datos del mismo (archivo “.odb”) sobre la cual se llevará a cabo el citado estudio de propagación.

Los planos del parking del aeropuerto proporcionados por AENA tienen el formato “.dxf” mencionado previamente. Se trata de un plano de planta del aparcamiento, algo que a priori no sería válido para un estudio completo de propagación electromagnética, ya que el software de propagación maneja un formato distinto en sus simulaciones. El proceso de conversión de los planos se ha llevado a cabo de la siguiente manera:

El primer paso es ejecutar el software de procesado de bases de datos vectoriales (WallMan). Para ello, desde el menú principal de la herramienta FEKO, se selecciona el mencionado software tal y como se muestra en la Figura 22.



Figura 22: Ejecución del software de procesado de bases de datos vectoriales de terrenos “WallMan”

Tras la ejecución del software, se procede a crear una nueva base de datos vectorial (File → New Database). El siguiente paso es establecer el tipo de entorno de simulación, es decir, si las simulaciones se van a llevar a cabo en un entorno urbano o en un espacio cerrado (edificios, viviendas, locales, etcétera). También es necesario especificar cómo se van a introducir los datos en la base (manualmente o conversión de archivo “.dxf”). Adicionalmente, la herramienta permite introducir distintos tipos de materiales que conforman los elementos de la base de datos, aunque por el momento no se va a utilizar esta opción, los materiales que componen las marquesinas y los postes (elementos que

son potenciales distorsionantes de la señal Wi-Fi) serán introducidos de forma manual más adelante. En la Figura 23 se muestra el menú de creación de la base de datos vectorial de los planos de la zona del parking público del aeropuerto.

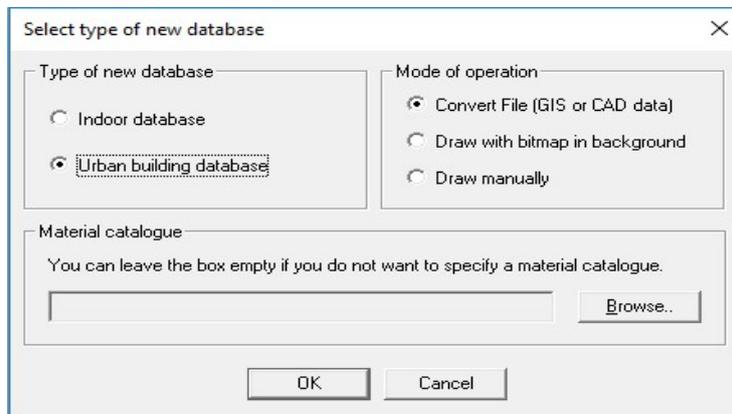


Figura 23: Creación de una nueva base de datos vectorial a partir de los planos provistos por AENA

A continuación, el programa pide introducir la zona geográfica (en coordenadas UTM) sobre la cual se va a llevar el análisis a cabo, obteniendo así de distintas bases de datos parámetros como tasas de precipitaciones, velocidad del viento y meteorología en general de la zona para el cálculo de las atenuaciones en los enlaces. La zona UTM para Santander es la zona 30 del hemisferio norte, tal y como se muestra en la Figura 24.



Figura 24: Zona UTM del Aeropuerto Seve Ballesteros - Santander

Una vez seleccionada la ubicación geográfica del proyecto, es necesario introducir el archivo “.dxf” de los planos del aeropuerto al programa para realizar su conversión a base de datos vectorial. Tras seleccionar el fichero de planos del aeropuerto (el cual presenta varias capas en su composición), es necesario realizar la conversión de las capas a elementos de la base vectorial de datos. Esto se consigue mediante la función “Convert to Walls” del software. La Figura 25 muestra el proceso para llevar a cabo la conversión a base de datos vectorial.

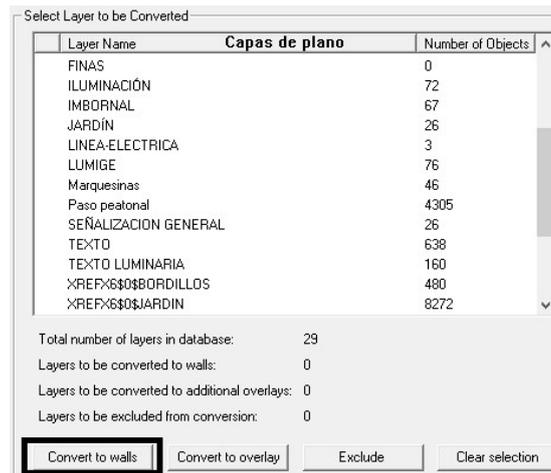


Figura 25: Proceso de conversión de los planos del aeropuerto a base vectorial de datos

Tras la ejecución, el programa muestra en su interfaz gráfica el resultado de la conversión tanto en plano de planta como en una visión tridimensional del mismo. En este momento, se notificó que algunas zonas del parking no se vieron del todo bien reflejadas en la base de datos. Además, para el estudio de cobertura es necesario disponer de más que el plano de planta del aparcamiento. Cada una de las marquesinas del aparcamiento se introdujeron en base a la información de los planos más la conversión de los mismos a base de datos vectorial. Debido al tipo de material utilizado para hacer las marquesinas (de acero galvanizado) fue necesario introducir este tipo de material a la hora de evaluar el comportamiento de las señales 802.11, ya que al ser un conductor perfecto (PEC), si los puntos de acceso estuviesen a unca cierta distancia (en función de la  $\lambda$  de la señal 802.11) de las marquesinas, se podrían generar componentes indeseadas de campo eléctrico que distorsionarían la señal, además de hacerla sufrir atenuaciones por reflexiones al chocar contra ellas. Se han definido dos nuevos materiales para realizar el estudio. Siendo estos:

- **Metal:** Contiene las propiedades eléctricas y electromagnéticas del acero galvanizado que forman las marquesinas en función de cada frecuencia de operación (2.4 y 5 GHz). Para este tipo de material se han fijado los parámetros mostrados en la tabla 4, extraídos de las recomendaciones ITU sobre los diferentes parámetros de los materiales.

Tabla 4: Parámetros eléctricos del material etiquetado como "Metal"

Tipo de material	Parte real de la permitividad relativa		Conductividad (S/m)		Gama de frecuencias
	A	b	c	d	
Metal	1	0	$10^7$	0	1 – 100 GHz

- **Postes:** Contiene las propiedades de las vigas que sujetan las marquesinas. Al no especificarse el tipo de metal del que se componen las marquesinas y los postes, se han utilizado los mismos parámetros eléctricos para ambos casos.

Tras introducir los parámetros que definen el comportamiento de las señales Wi-Fi al interceptar las marquesinas y los postes que las sujetan, es necesario definir en la base de datos vectorial cuáles de los elementos de la base lo son y cuáles no. Además, también es necesario establecer la altura de las marquesinas (tres metros de altura) para obtener un área de evaluación tridimensional, algo que permite una visión lo más realista posible del comportamiento de la señal en el medio. La Figura 26 muestra la comparación entre la base de datos original trasladada directamente de los planos y la misma tras la modificación de la altura y los materiales de las marquesinas.

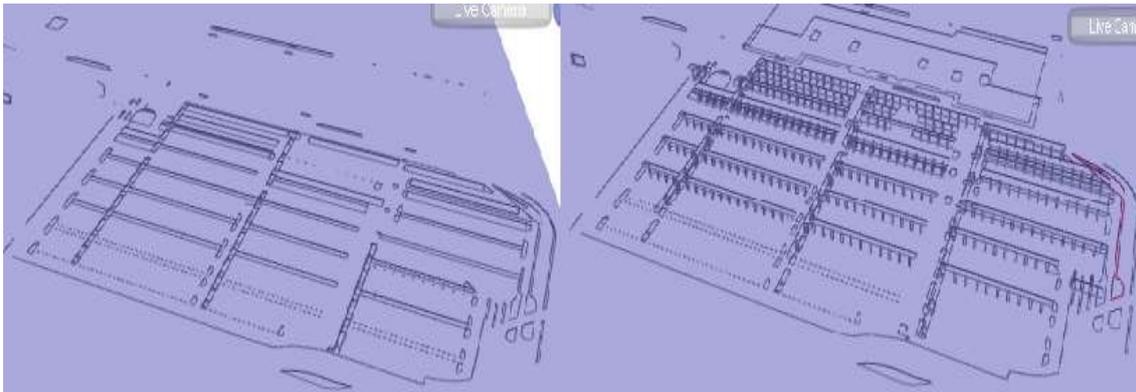


Figura 26: Comparativa entre base de datos nativa (izquierda) y base de datos modificada (derecha)

Teniendo ya el área de evaluación bien definido, es posible utilizarlo para realizar las simulaciones de las tecnologías Wi-Fi candidatas a formar la infraestructura para la que este proyecto se lleva a cabo.

### 3.4. Estudio de cobertura para la tecnología 802.11g

Como primer caso de estudio, se plantea el uso de la tecnología 802.11g. A pesar de estar ya prácticamente obsoleta y de que la mayoría de dispositivos comerciales ya no la implementen en sus elementos de interfaz inalámbrica de red, puede ilustrar el comportamiento de la señal a la frecuencia de 2.4 GHz en el entorno descrito en el anterior apartado para lo que podría ser el peor caso (las versiones posteriores del estándar IEEE 802.11 incluyen un mayor procesamiento de señal que permitiría minimizar el impacto con los problemas que pudiesen surgir en el camino de propagación de la señal).

Para llevar a cabo la carga de la base de datos vectorial del plano del aeropuerto en el software de propagación electromagnética “**WinProp**” es necesaria la creación de un nuevo proyecto, tal y como se muestra en la Figura 24. La selección de la base de datos se lleva a cabo en el mismo menú de creación de nuevo proyecto escogiendo el archivo “.odb” asociado a los planos del aeropuerto (señalado en rojo en la Figura 27). Adicionalmente, el software permite una serie de simulaciones extra tales como cálculo del *Throughput* en cada punto del área de evaluación, cálculo de relación portadora a ruido, elección de mejor AP en cada punto del espacio, etcétera (señalado en negro).

New Project

**Wireless Technology (Air Interface)**

Please define the air interface (technology) of the wireless network you want to plan/simulate.

You can either select a pre-defined air interface or you can define all settings of your air interface individually. If you want to use this tool only for propagation analysis, you should disable the air interface.

Network Planning based on manual definition of air interface

In this mode the user can define all parameters of the air interface individually. This mode should only be selected by expert users.

**Scenario**

Urban Scenarios (vector data for urban buildings and pixel topo data)

Consider additionally topography (pixel database)

**Databases**

Use only preprocessed vector databases

3D building data (Vector database)

Select

Figura 27: Menú de creación de proyecto de análisis electromagnético

En primer lugar, se ha planteado el caso de distribuir nueve APs por toda la superficie del parking (tres puntos de acceso en cada fila de aparcamientos) tal y como se muestra en la Figura 28.



Figura 28: Posicionamiento de nueve puntos de acceso en el parking del aeropuerto

Los puntos de acceso han sido configurados para trabajar a la frecuencia de 2.4 GHz, tal y como especifica el estándar IEEE 802.11g. Además, se han modificado los parámetros del proyecto por defecto, de manera que las comunicaciones se lleven a cabo utilizando la tecnología OFDM/TDD con las siguientes características:

- Número total de subportadoras: **64**
- Subportadoras de guarda: **12**
- Espaciado entre subportadoras: **312.5 KHz**
- Duración de símbolo OFDM: **3.2 μs**
- Subportadoras de referencia: **4**
- Subportadoras de información útil: **48**

De la misma manera, cada subportadora debe ser modulada. Las modulaciones escogidas en función de la calidad del enlace transmisor – receptor se reflejan a continuación. También es necesario definir cada uno de los canales que componen el espectro destinado a comunicaciones 802.11g (con anchura espectral de canal de 20 MHz). La Figura 29 refleja tanto las modulaciones utilizadas como la distribución de los canales Wi-Fi en el espectro de emisión.

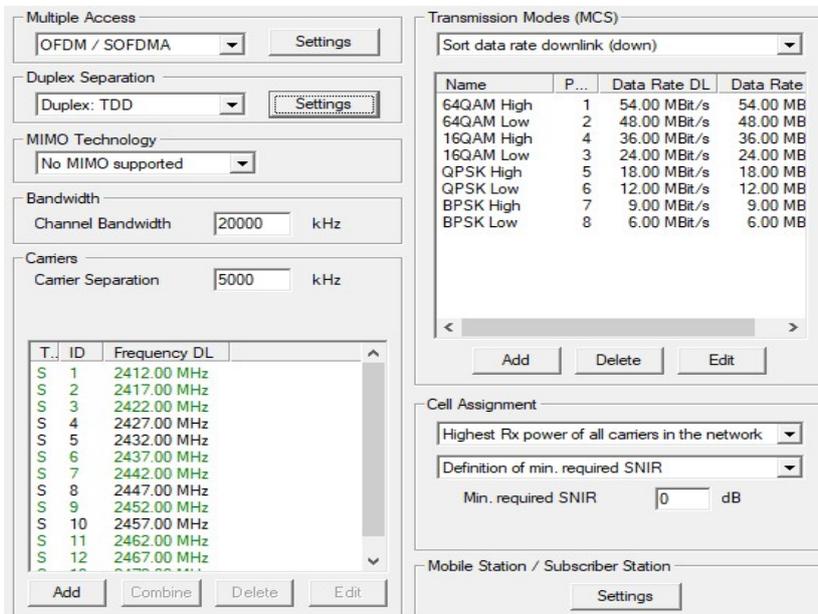


Figura 29: Definición de modulaciones de portadora disponibles y división del espectro de operación de IEEE 802.11g

De esta manera, en función de la distancia al punto de acceso, se escogerá la modulación que mejor relación rendimiento/robustez (considerando parámetros tales como tasa de codificación y número de símbolos por portadora) dote a la señal en un punto concreto del área del aparcamiento. De esta manera, las modulaciones de mayor orden (64-QAM HIGH) estarán presentes en el mejor de los escenarios (cercanía al AP libre de obstáculos), mientras que las modulaciones con menor orden serán escogidas en un peor escenario de propagación.

Para un correcto funcionamiento del sistema, se ha escogido la distribución de canales que mejor se ajustase al requisito de interferencia mínima entre portadoras. La tecnología IEEE 802.11g dispone de 13 canales, de los cuáles los canales 1, 6 y 11 son los que menor interferencia sufren por parte de los demás canales. Esto es debido a que el espectro de emisión para la tecnología IEEE 802.11g es de 100 MHz y que cada canal dispone de los 20 MHz mencionados previamente, por lo que son inevitables los solapamientos entre los canales contiguos. La Figura 30 representa la situación descrita, en la que se refleja la organización de los 13 canales en el espectro.

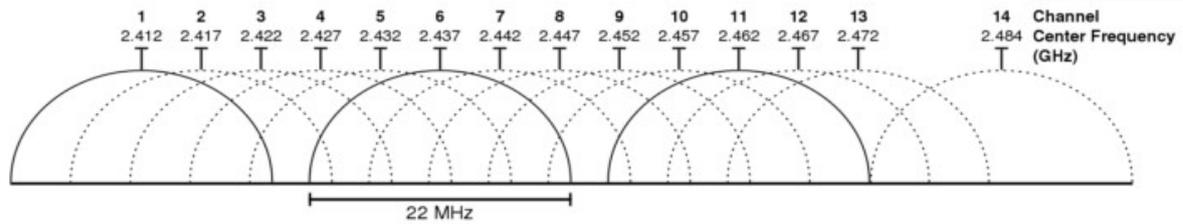


Figura 30: Distribución de los canales Wi-Fi en la tecnología IEEE 802.11g

Teniendo esto en cuenta, la distribución de los canales en cada punto de acceso (todos con potencia de transmisión igual a 20 dBm y antenas de 3 dBi de ganancia) en cada una de las tres filas, de izquierda a derecha (recordamos, 3 puntos de acceso en cada fila) es la siguiente:

- Primera fila: **Site 1:** Canal 1, **Site 2:** Canal 6, **Site 3:** Canal 11
- Segunda fila: **Site 4:** Canal 7, **Site 5:** Canal 12, **Site 6:** Canal 4
- Tercera fila: **Site 7:** Canal 13, **Site 8:** Canal 3, **Site 9:** Canal 8

Tras asignar los canales a cada punto de acceso de la forma señalada en las líneas anteriores, se realiza la simulación de nivel de señal (niveles de campo y potencia radiada) en el aparcamiento del aeropuerto utilizando el icono “Run Pro” del software de propagación electromagnética. El programa, además de las pérdidas básicas de propagación ( $L_b$ ), calcula atenuaciones debidas a la atmósfera gracias a los datos de los que dispone en función de la geolocalización del aeropuerto.

Los resultados de la simulación son mostrados en la Figura 31. Se puede concluir que los niveles de campo obtenidos son más que suficientes para superar la sensibilidad en recepción por parte de los dispositivos comerciales (entorno a un valor de potencia de -70 dBm mínimo). Asimismo, se considera que el establecimiento de 9 puntos de acceso es algo desmesurado, ya que el número de potenciales usuarios conectados a la red del aparcamiento público del aeropuerto no se correspondería con tal cantidad de APs. Además, los niveles de señal provistos por la herramienta supondrían un ineficiente uso de la energía, ya que al ubicar un número menor de puntos de acceso, se consumiría menos energía pero la pérdida de señal no se vería mermada.

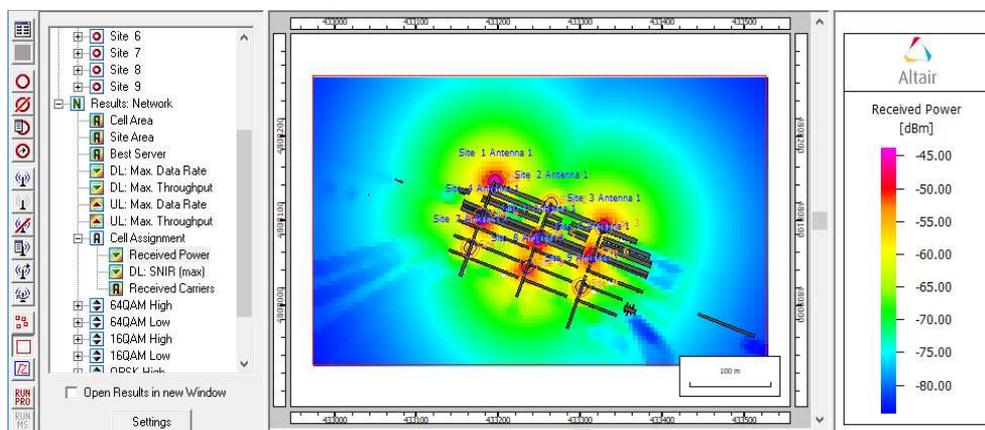


Figura 31: Niveles de potencia presentes en el área del parking del aeropuerto ubicando nueve puntos de acceso

El siguiente escenario propuesto se muestra en la Figura 32. En él, los puntos de acceso *Site 2*, *Site 7* y *Site 9* (señalado en la misma Figura en rojo) son distribuidos describiendo un área triangular con objeto de cubrir el mayor área posible de forma eficiente.



Figura 32: Distribución de los puntos de acceso para la segunda configuración planteada

En este caso, tras realizar la simulación, se observan unos valores de potencia más razonables en lo que se refiere a eficiencia energética ya que son capaces de cubrir todo el área utilizando la cantidad suficiente de recursos. La Figura 33 muestra los niveles de potencia obtenidos para este caso en concreto. Adicionalmente y a modo de conclusión de este apartado del proyecto, las Figuras 34 y 35 muestran los resultados de los mejores puntos de acceso en cada zona del aparcamiento y del throughput de datos máximo presente en el canal *downlink* (descarga) respectivamente.

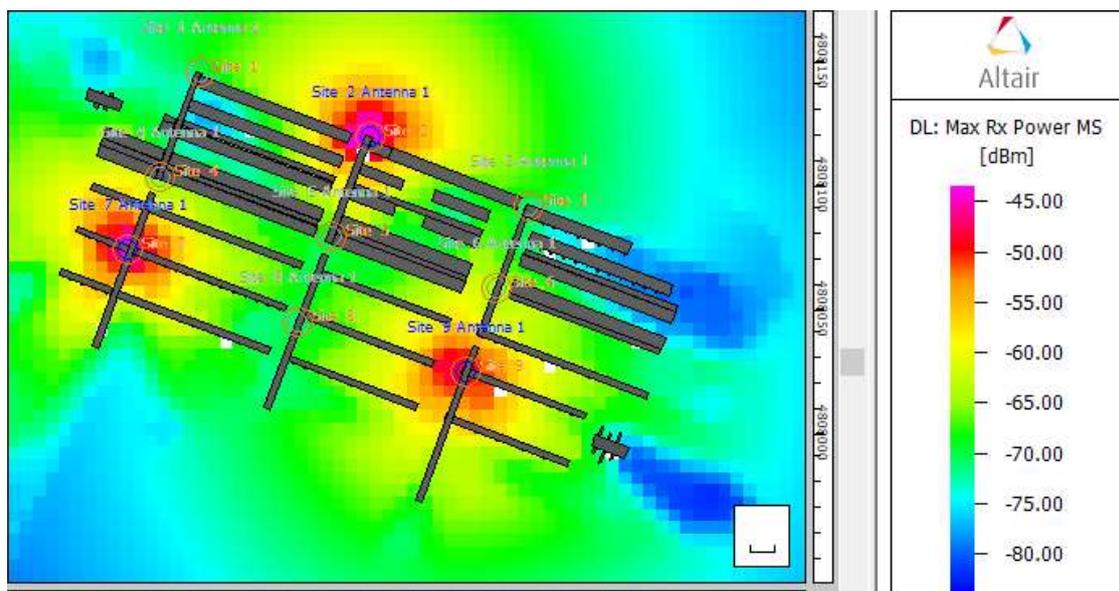


Figura 33: Niveles de potencia presentes para tres puntos de acceso operando según el estándar IEEE 802.11g

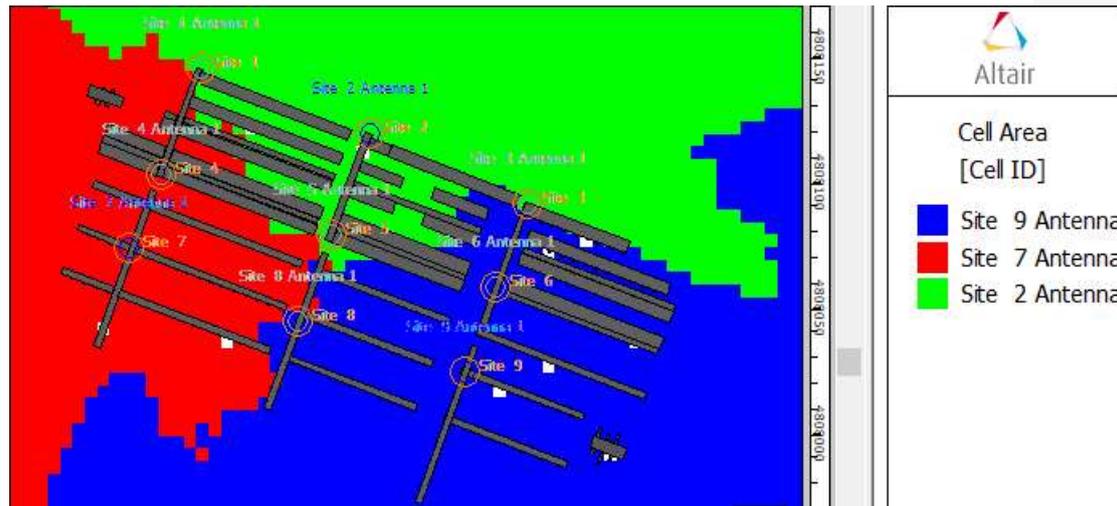


Figura 34: Mejores zonas de rendimiento para cada punto de acceso

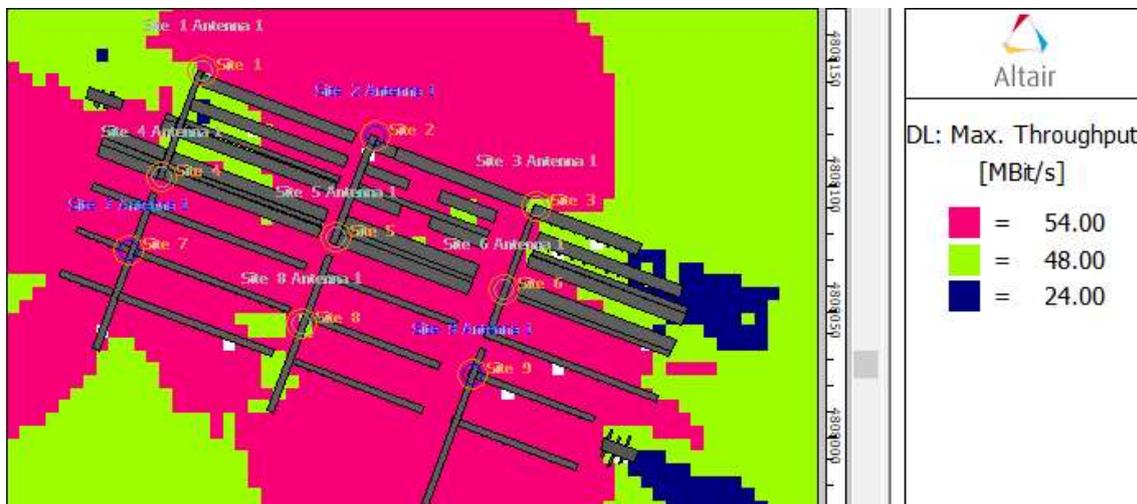


Figura 35: Distribución del throughput de datos en el área destinada al aparcamiento público

### 3.5. Estudio de cobertura para la tecnología 802.11n (banda de 2.4 GHz)

Debido a la obsolescencia del estándar 802.11g y también el sobredimensionado (los requisitos de los usuarios no serán lo suficientemente exigentes como para desplegar una red “Gigabit Ethernet”) que supondría el implantar la tecnología 802.11ac u 802.11ad, el estándar 802.11n es un serio candidato a ser el elegido para formalizar el despliegue de la nueva infraestructura de red Wi-Fi del aparcamiento público del Aeropuerto Seve Ballesteros - Santander. Entre varios factores, cabe destacar la posibilidad por parte de este estándar del uso de dos bandas de operación diferentes (2.4 GHz y 5 GHz) para un único punto de acceso, algo que evitaría interferencias entre los usuarios operantes en cada una de las bandas. Además de ello, otra de las ventajas

más importantes que se obtienen al utilizar esta tecnología, es la posibilidad de implementar la tecnología MIMO en los puntos de acceso, suponiendo esto (como se mostrará posteriormente en el estudio del throughput para esta tecnología) un gran aumento del rendimiento en comparación con el anterior estándar.

En primera instancia se muestran los resultados de propagación al utilizar la tecnología 802.11n en la banda de 2.4 GHz, utilizando técnica MIMO 2x2 y con espaciado entre canales de 20 MHz. La implementación de la tecnología MIMO en el software de propagación electromagnética y rendimiento del sistema se ve reflejada en la Figura 36 (en rojo), donde se instancia la presencia de este tipo de tecnología en el proyecto a la vez que se asigna a cada antena del punto de acceso la portadora del canal que utiliza.

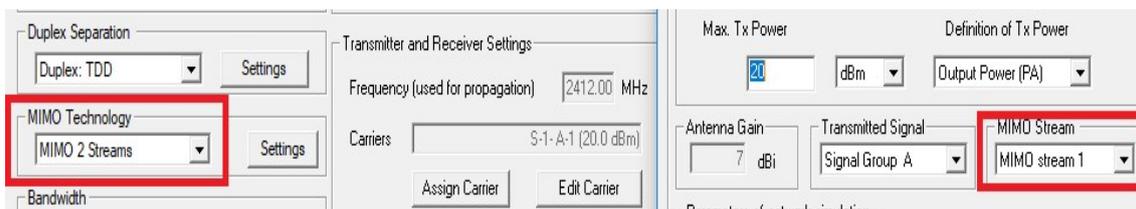


Figura 36: Implementación de la tecnología MIMO 2x2 al realizar la simulación del estándar 802.11n

La división de canales para este estándar es igual que en el estándar 802.11g (ver Figura 26), aunque no ocurre así con la utilización de modulaciones en transmisión/recepción de tramas. La diferencia entre ambos es que el estándar IEEE 802.11n permite el uso de tres tipos de modulación 64-QAM (cada una con mayores o menores tasas binarias y de codificación en función de la calidad del enlace) en lugar de las dos disponibles en el estándar 802.11g.

En primera instancia, se considera que la distribución (ver Figura 32) y potencia de emisión es la misma que para la tecnología 802.11g (20 dBm). Con todos estos datos, se procede a la simulación del escenario, los cuales se reflejan en la Figura 37.

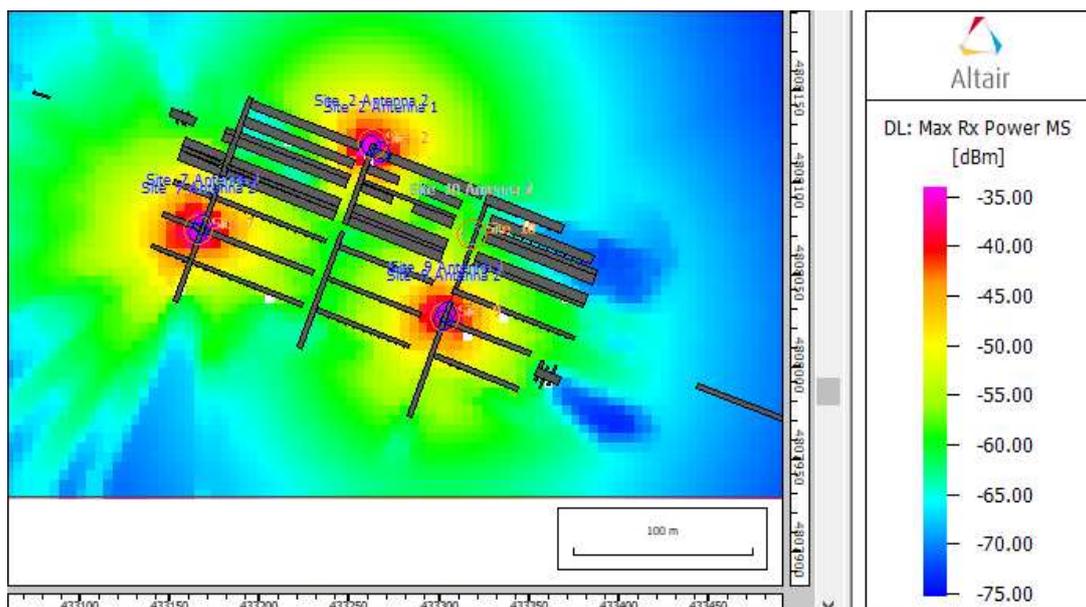


Figura 37: Niveles de potencia presentes en el área destinada al aparcamiento público al utilizar la tecnología 802.11n MIMO 2x2 a la frecuencia de 2.4 GHz – Primer escenario

Se puede observar que en la zona noreste del aparcamiento el nivel de potencia podría no llegar a ser suficiente, al presentar niveles de potencia recibida por debajo de los -70 dBm, por lo que se procede a la instalación del “Site 10” (inactivo en la Figura 37) para erradicar este problema. Los niveles de potencia en el escenario propuesto son observados en la Figura 38. Se puede notificar la mejora en la calidad del sistema con objeto de dar buen servicio a los potenciales usuarios que se distribuyan en el área del aparcamiento.

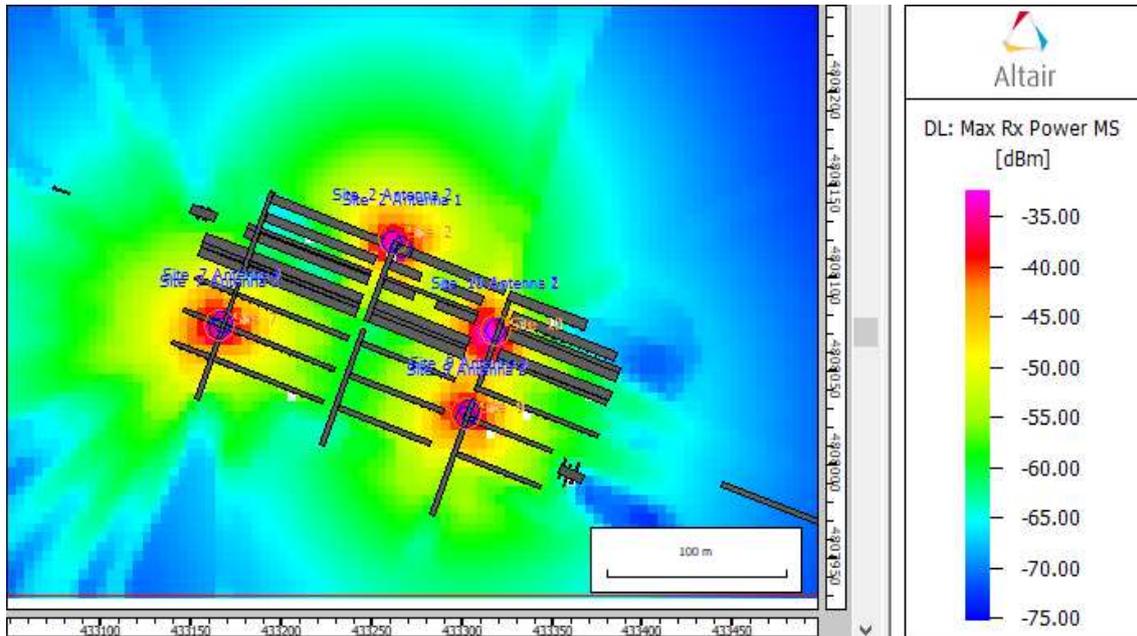


Figura 38: Niveles de potencia presentes en el área destinada al aparcamiento público al utilizar la tecnología 802.11n MIMO 2x2 a la frecuencia de 2.4 GHz – Escenario final

Para concluir, las Figuras 39 y 40 muestran el rendimiento ofrecido por cada punto de acceso en lo que a throughput se refiere y de la división del área en función del mejor rendimiento de cada AP respectivamente, de igual manera que se realizó en el apartado anterior. El aumento de rendimiento respecto a este caso anterior es bastante notable. Mientras que la tasa máxima de intercambio de datos se situaba en un máximo de 54 Mbps para la tecnología 802.11g, en la tecnología 802.11n MIMO 2x2 se observa una tasa máxima de 120 Mbps, duplicando holgadamente el *throughput* respecto a su predecesor.

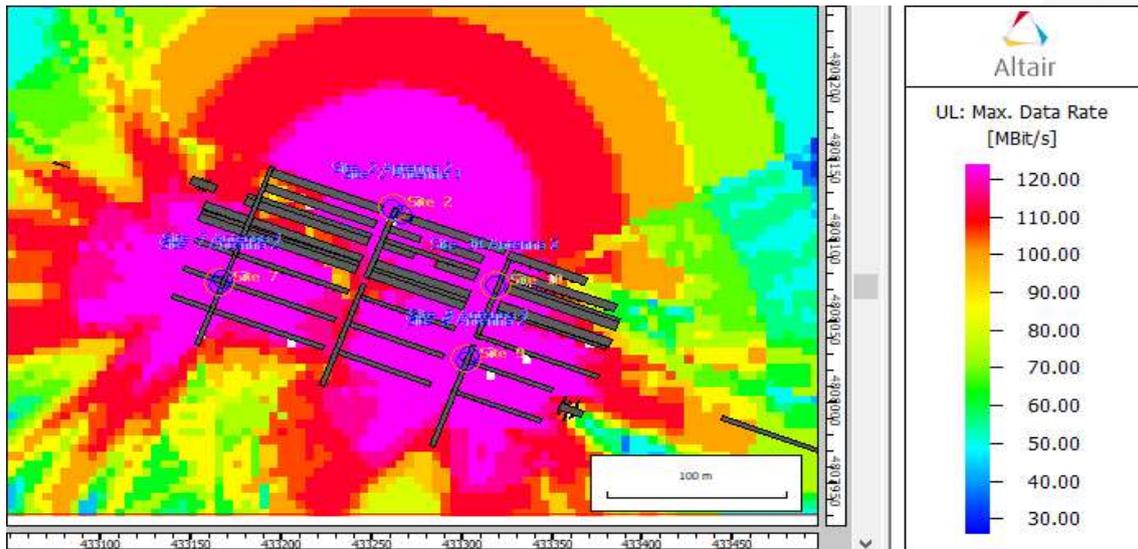


Figura 39: Niveles de throughput en cada punto del área del aparcamiento al utilizar 4 puntos de acceso 802.11n MIMO 2x2 a 2.4 GHz

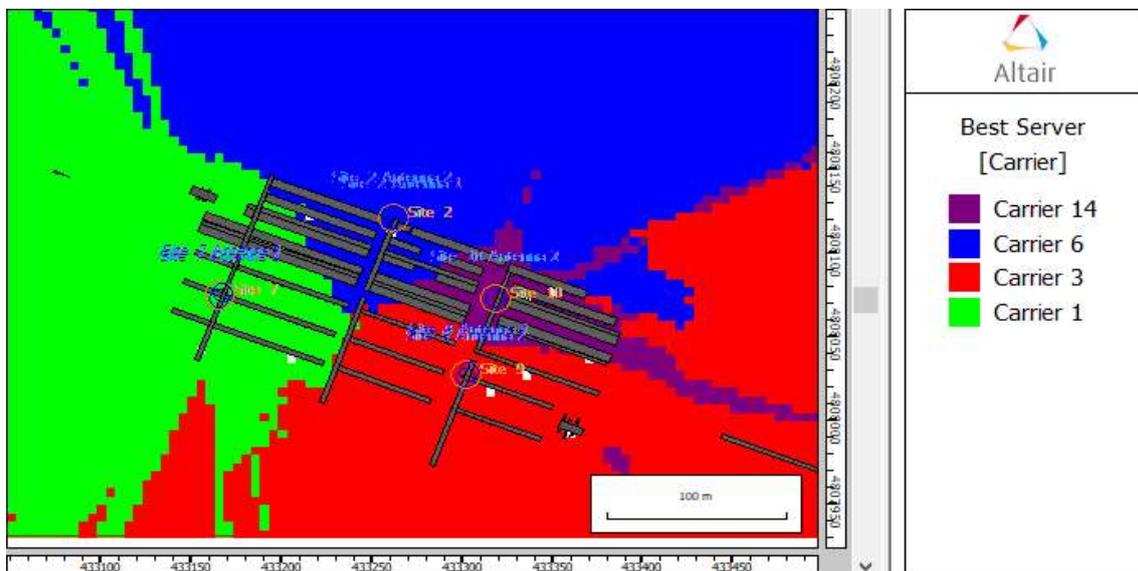


Figura 40: Mejor rendimiento de cada punto de acceso en función de cada punto del área del aparcamiento al utilizar la tecnología 802.11n MIMO 2x2 a 2.4 GHz

Se puede observar en las imágenes el buen rendimiento que ofrece el uso de esta tecnología, simplemente con disponer un punto de acceso más. Partimos de la conexión básica planteada usando la tecnología 802.11g, que ofrece un rendimiento aceptable para conexiones en las que no se exija mucha carga de datos a un rendimiento muy superior (120 Mbps en muchos de los puntos del aeropuerto), que dotaría a la conexión de capacidad suficiente para llevar a cabo conexiones más exigentes (streaming, descarga de vídeo bajo demanda en HD, intercambio de grandes archivos, etc.). Llegado este momento, es necesario observar el comportamiento de la tecnología 802.11n en la banda de 5 GHz, donde presentará (debido a su mayor ancho de banda, ya que dispone de 40 MHz por canal) un mejor rendimiento a distancias más cortas ya que a mayor frecuencia, mayor número de pérdidas básicas de propagación sufrirán las señales Wi-Fi.

### 3.6. Estudio de cobertura para la tecnología 802.11n (banda de 5 GHz)

El caso de uso de la banda de 5 GHz conlleva ciertas diferencias (además de la evidencia de utilizar frecuencias distintas), las cuales son enumeradas a continuación:

- Ancho de banda de canal de 40 MHz
- Cuatro canales para emisión de portadora (32, 64, 100 y 140 en España)
- Mejora del Throughput
- Menor distancia en los enlaces

Como se puede esperar, los resultados reflejados por la simulación de propagación electromagnética siguen el patrón de las líneas anteriores, haciendo de ésta tecnología al utilizar la banda de 5GHz un método de acceso idóneo a la hora de estar ubicado lo suficientemente cerca del punto de acceso como para que el rendimiento, en comparación con la banda de 2.4 GHz, aumente de manera razonable. La configuración de las modulaciones es la misma que para la tecnología 802.11n a 2.4 GHz, mientras que la distribución de los 4 canales se ha llevado a cabo según lo mostrado en la Figura 41. Se utiliza de igual modo la tecnología MIMO 2x2 con objeto de aumentar el rendimiento del sistema.

T.	ID	Frequency DL
S	36	5180.00 MHz
S	64	5320.00 MHz
S	100	5500.00 MHz
S	140	5700.00 MHz

Figura 41: Distribución de los canales Wi-Fi en la banda de 5GHz

Los resultados, tanto de la simulación de propagación electromagnética como de rendimiento de *throughput*, y mejores puntos de acceso en cada zona son mostrados en las siguientes Figuras 42, 43 y 44, respectivamente. El número y la localización de puntos de acceso son los mismos que para el caso de utilización de la banda de 2.4GHz, ya que no habrá un punto de acceso para cada tecnología, sino que seleccionarán aquellos que sean capaces de trabajar dualmente en cualquiera de las bandas de trabajo.

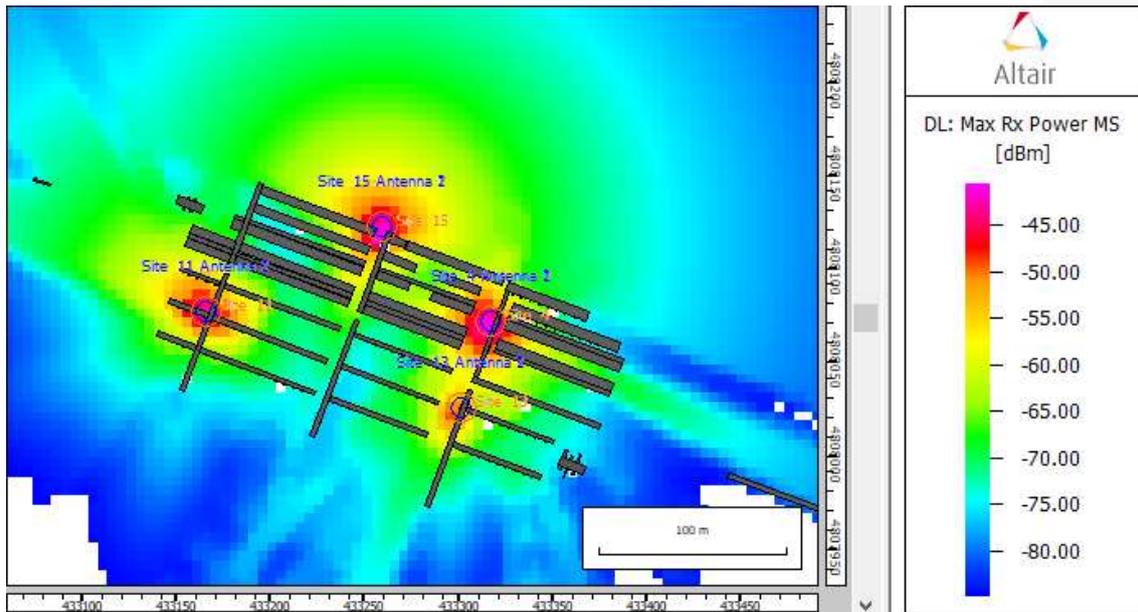


Figura 42: Niveles de potencia presentes en el área destinada al aparcamiento público al utilizar la tecnología 802.11n MIMO 2x2 a la frecuencia de 5 GHz

Como se puede observar, los niveles de potencia para el caso de uso de la frecuencia de 5GHz son menores que para las configuraciones previas, por lo que esta banda será utilizada cuando ofrezca mayor rendimiento que la de 2.4 GHz (en zonas cercanas a los puntos de acceso).

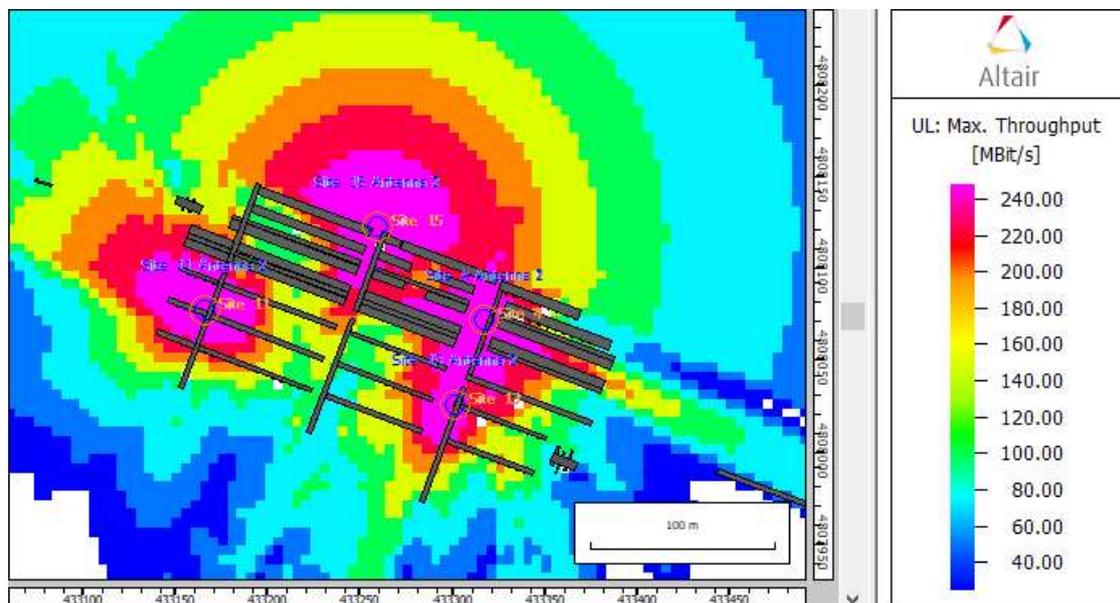


Figura 43: Niveles de throughput en cada punto del área del aparcamiento al utilizar 4 puntos de acceso 802.11n MIMO 2x2 a 5GHz

Al aumentar el ancho de banda de cada canal al doble de su valor, el throughput máximo se ve aumentado igualmente en la misma medida. La ecuación 3 muestra el por qué de este suceso en función de los siguientes parámetros:

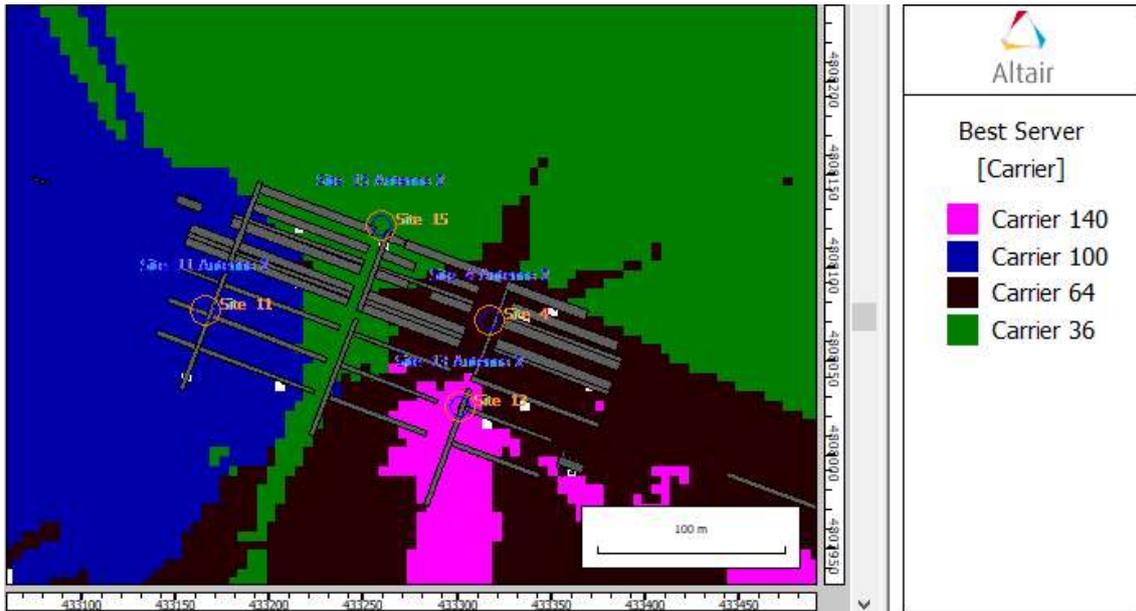
- Orden de modulación (**M**)
- Duración de símbolo OFDM (**T**)

- Número de subportadoras OFDM (**N**)
- Ancho de banda del canal ( **$W_c$** )

$$R_b = \frac{N \log_2(M)/T}{N/T} * W_c = \frac{64 \log_2(64)/1,6 \cdot 10^{-6}}{64/1,6 \cdot 10^{-6}} * 40 * 10^6 = \mathbf{240 \text{ Mbps}}$$

*Ecuación 3: Cálculo del throughput de las señales 802.11n con un ancho de banda de canal igual a 40 MHz*

Por último y de igual manera que en los casos anteriores, la Figura 44 muestra los mejores puntos de acceso a los que asociarse en función de la posición en la que se encuentre el usuario.



*Figura 44: Mejor rendimiento de cada punto de acceso en función de cada punto del área del aparcamiento al utilizar la tecnología 802.11n MIMO 2x2 a la frecuencia de 5GHz*

## Capítulo 4: Elección de equipamiento de red, informe técnico y presupuesto

## 4.1. Controladora de red

Para llevar a cabo el despliegue de una infraestructura Wi-Fi, es necesario disponer del equipamiento concreto que permite el buen funcionamiento de este tipo de redes. Con objeto de realizar el direccionamiento e intercambio de tráfico entre la subred destinada al aparcamiento y la red dorsal de todo el aeropuerto, es necesario realizar el emplazamiento de una **controladora de red**, que además de realizar el mencionado intercambio de tráfico, es la encargada de realizar las comunicaciones, accesos a servidores y BBDD, gestión de acceso de usuarios, gestión de acceso a contenidos, definición de políticas de seguridad, asignación de recursos (ancho de banda) a cada punto de acceso en función del número de usuarios, etc. de manera bidireccional entre el nodo central de la red y los puntos de acceso.

En este punto es necesario evaluar las ventajas e inconvenientes que supondría la instalación de una nueva controladora de red, destinada a gestionar el tráfico que proceda únicamente de una potencial subred en el aparcamiento público, independiente de las demás o, por lo contrario, aprovechar la infraestructura desplegada en las distintas zonas del aeropuerto para extender la infraestructura al aparcamiento público. De utilizar la primera de las alternativas, debería realizarse un acceso a internet independiente para esta controladora, además de realizar la canalización de nuevo cableado hasta el punto final de la red (salida a internet). Además de ello, sería necesaria una gestión duplicada de la infraestructura Wi-Fi, debido a la adición de una nueva controladora de red, además del hecho de suponer un gran coste adicional.

Por otra parte, crear una subred paralela a la ya existente, supondría una mayor cantidad de usuarios soportados que, en el caso de utilizar la misma red para todas las zonas del aeropuerto. De cualquier modo, la infraestructura actual es capaz de gestionar a la vez los puntos de acceso desplegados en el interior del edificio más los nuevos puntos de acceso distribuidos en el aparcamiento público, por lo que se optará por aprovechar la infraestructura de red actual del aeropuerto para llevar a cabo la gestión y direccionamiento de la nueva infraestructura Wi-Fi. El número de puntos de acceso que pueden gestionar las controladoras de red disponibles en el CPD del aeropuerto en total, es de 1.500 puntos de acceso, con capacidad para dar servicio a aproximadamente 20.000 usuarios, cumpliendo holgadamente con la estimación de potenciales usuarios mencionada en el tercer capítulo del documento. La controladora de red disponible en el aeropuerto es la **Cisco 5520 Wireless Controller**, mostrada en la Figura 45.



Figura 45: Controladora de red disponible en el aeropuerto Cisco 5520 Wireless Controller

A continuación, se muestran algunas de sus características (hoja de características disponible en el anexo “A”):

- Throughput máximo: 20 Gbps
- Capacidad para 1.500 APs, 20.000 usuarios y 4.096 VLANs
- 20 interfaces Gigabit Ethernet
- Interfaces ópticas SFP
- Estándares de seguridad IEEE 802.11i, autenticación RADIUS y métodos 802.1X
- Encriptación triple DES y Cipher Block Chain
- Gestión de interfaces en árbol MIB, MIB II y RMON MIB, gestión SNMP, TFTP, SNTP y HTTP

## 4.2. Puntos de acceso

El siguiente elemento de red ya ha sido mencionado en varios de los capítulos de este proyecto. Los puntos de acceso (**AP**) son dispositivos capaces de interconectar los equipos conectados a una red inalámbrica. Éstos dispositivos están a su vez conectados mediante cableado a la red dorsal del aeropuerto y proveen cobertura inalámbrica a aquellos dispositivos que deseen conectarse a la red Wi-Fi. De igual manera, los diferentes APs que conforman una red pueden estar conectados entre sí (mediante cable Ethernet, fibra óptica o de manera inalámbrica), formando lo que se conoce como una red *mesh*, en la que se pueden realizar traspasos de conexiones entre los puntos de acceso o “*roaming*”. Además de ser el elemento de la red que da acceso a internet a los diferentes usuarios conectados a él, el punto de acceso es capaz de llevar a cabo funciones como:

- Elección de banda de transmisión Wi-Fi
- Vinculación de interfaces
- Cortafuegos (control de acceso MAC)
- Establecimiento de túneles de comunicaciones

Al realizar el proyecto en una superficie a la intemperie, es conveniente realizar una búsqueda de productos comerciales destinados al uso en exteriores. El hecho de presentar esta característica encarece notablemente el presupuesto, pero por otra parte se mitigan los riesgos de daños en el equipamiento y/o pérdida del servicio causados por condiciones adversas de climatología y humedad, lo que supone una gran ventaja, ya que se pretende dar un correcto servicio durante el mayor tiempo posible a los usuarios. Teniendo en cuenta la infraestructura de red ya existente en diversas zonas del aeropuerto, se ha tratado de dar prioridad a la compatibilidad entre los diferentes dispositivos de red desplegados y los que ahora van a ser desplegados. Los puntos de acceso desplegados en el interior del edificio terminal son **Cisco Aironet 1830 Series**. Además de puntos de acceso de interior, Cisco también dispone en el mercado de una gran cantidad de puntos de acceso destinados a exteriores. De entre todos ellos y debido

a los requisitos del entorno, se ha escogido el punto de acceso **Cisco Aironet 1560 Series Outdoor APs** (Figura 46).



Figura 46: Punto de acceso Cisco Aironet 1560 Series Outdoor APs

De entre sus muchas características, las más llamativas y que competen directamente a los requisitos del proyecto son las siguientes:

- Tecnologías de operación **IEEE 802.11ac y 802.11n banda dual (2.4 y 5 GHz), 802.11g (2.4 GHz) y 802.11a (5GHz)**
- Tecnología **MIMO hasta 3x3 streams espaciales**.
- Conectividad a cable de fibra óptica mediante conector SC
- Consumo máximo de energía máximo **32 W**
- Bridging inalámbrico (arquitectura *Mesh*) y certificaciones X.509
- Métodos de autenticación 802.1X (EAP, PEAP, TLS, TTLS)
- IP Security (IPSec), filtrado MAC y cifrados de acceso WPA y WPA2
- Alimentación *Power over Ethernet* [10]

En el anexo A disponible al final de este documento se encuentra la hoja de características de los puntos de acceso con todos los detalles adicionales acerca de los mismos.

### 4.3. Equipamiento adicional y canalizaciones

Debido a la distancia existente entre los puntos de acceso y el centro de cableado más cercano, resulta ineficiente realizar una acometida de pares trenzados ya que la atenuación sufrida en el trayecto no cumpliría los requisitos mínimos de nivel de señal estandarizados [11]. Es por ello por lo que se utilizará fibra óptica monomodo estándar para conectar los APs al centro de cableado mostrado en la Figura 47 y situado enfrente de una de las entradas al edificio terminal. Para llevar a cabo la acometida de fibra en el tramo final, dentro del centro de cableado y hasta los puntos de acceso, se realizará la fusión del cable de 2 fibras a latiguillos de una única fibra monomodo con conector SC.



Figura 47: Armario "rack" situado en el centro de cableado más próximo a la infraestructura de red

Derivado de esta necesidad y debido a la tecnología utilizada por los conmutadores encargados de enrutar el tráfico hasta las controladoras de red, surge la necesidad de instalar conversores optoeléctricos, ya que los conmutadores disponen puertos de entrada y salida hacia o desde los puntos de acceso de tipo RJ45 (pares trenzados), mientras que el cableado que será desplegado es de fibra óptica. La función de estos dispositivos es devolver al dominio eléctrico las señales ópticas recibidas. De igual manera, las señales eléctricas enviadas por la interfaz RJ45 de los conmutadores de comunicaciones serán convertidas al dominio óptico, para ser enviadas a través de la fibra óptica hasta los puntos de acceso.

Para el caso de los puntos de acceso no será necesario el emplazamiento de estos dispositivos ya que disponen de puerto de conector SC de fibra, por lo que únicamente será necesario adquirir uno por cada cable de entrada de fibra al *switch*. Existen varios productos comerciales destinados a este propósito y se ha optado por utilizar el conversor **Mikrotik RBFTC11**. Este dispositivo dispone de una entrada de cable de fibra óptica (transmisión y recepción de tráfico), una entrada de alimentación DC a 5 voltios, una entrada de alimentación *Power over Ethernet* y una entrada/salida de tipo RJ45, que será conectada mediante cable de pares trenzados UTP categoría 5 al conmutador dentro del centro de cableado.

Para llevar a cabo la canalización del cableado de fibra desde los puntos de acceso al centro de cableado, se ha escogido tubo rígido de policarbonato, exento de halógenos según la norma UNE-EN 50267-2-2 [12], enchufable, curvable en caliente, de color gris y de 20 mm de diámetro nominal. El tubo contendrá el par de fibras necesario para establecer los enlaces entre los puntos de acceso y los conmutadores alojados en el

centro de cableado. Para desplegar la infraestructura de canalización de los diferentes tramos de tubo, se ha acudido de nuevo a los planos originales proporcionados por AENA, ya que gracias al software *AutoCad*, el cálculo de metros de tubo de plástico necesarios se ve facilitado en gran medida, utilizando la herramienta de acotado disponible en él. De esta manera, la longitud necesaria de metros de tubo se deduce de las Figuras 19 y 38 (resumidas en una Figura auxiliar a continuación), donde la primera de las figuras permite conocer con exactitud la distancia que separa cada AP del centro de cableado y la segunda determina la posición de cada AP en el parking público.



Figura 19 (bis): Vista satélite del parking público con longitudes totales de canalización

Las siguientes líneas describen los diferentes tramos de tubo necesarios para cada uno de los puntos de acceso. Para llevar el cableado de una zona de marquesinas a otra, es necesario realizar una roza en el pavimento (ver Figura 48), de manera que el tubo de plástico quede alojado en ella y se pueda llevar el cableado a las diferentes zonas del parking.



Figura 48: Roza o zanja de canalización de cableado en pavimento

Además, por cada cambio de zona de marquesinas será necesario adquirir dos veces la longitud de las columnas hasta el suelo, lugar por donde se realizará la canalización del tubo desde cada punto de acceso hasta la roza realizada en el pavimento.

- **Punto de acceso 1** ("Site 7" en la Figura 38): 28.21 m. desde el AP hasta el fin de la zona de marquesinas + 5 m. de canalización en vigas de acero (bajada y subida)

+ 6 m. de canalización en pavimento + 62.87 m. hasta la marquesina alineada con el centro de cableado + 69.72 m. hasta el centro de cableado. **Total: 171.8 metros.** Para este punto de acceso, se aprovechará la canalización para situar un punto de acceso en canal ortogonal con objeto de duplicar la capacidad en el caso de que la infraestructura diseñada necesite alguna ampliación. Esto conllevaría la adquisición de otros 171.8 metros de fibra óptica.

- **Punto de acceso 2** (“Site 2” en la Figura 38): Situado en una de las paredes del centro de cableado. No es necesaria canalización del cableado dentro de tubo. **3 metros de cable** aproximadamente. Para este caso específico no sería necesaria ningún tipo de canalización de cable de fibra óptica, sino que simplemente se podría conectar el punto de acceso al conmutador mediante aproximadamente 3 metros de cable UTP Ethernet 10/100T/1000-BASE-T/1000-BASE-X. Esto también conlleva la ventaja de no ser necesaria la adquisición de un conversor de fibra a cobre, algo que abaratará el presupuesto final de la infraestructura.
  
- **Punto de acceso 3:** (“Site 10” en la Figura 38): 26.15 m. hasta la marquesina alineada con el centro de cableado + 64.52 m. hasta el centro de cableado. **Total: 90.67 metros.** En este caso, también sería posible la acometida de cable UTP hasta el conmutador, ya que la longitud del enlace es menor a 100 metros. De todas maneras, se considera una distancia considerable y potencial a sufrir atenuaciones, por lo que se optará por realizar canalización de fibra en este enlace.
  
- **Punto de acceso 4:** (“Site 9” en la Figura 38): 5 m. de canalización en vigas de acero (bajada y subida) + 6 m. de canalización en pavimento + 61.49 m. hasta la marquesina alineada con el centro de cableado + 64.52 m. hasta el centro de cableado (se puede aprovechar la canalización del cableado del punto de acceso 3 en este último tramo). **Total: 137.01 metros.**

Por lo tanto, los metros totales de tubo son aproximadamente 405 metros. Adicionalmente, se plantea la posibilidad de llevar a cabo una ampliación de la infraestructura en el emplazamiento del punto de acceso AP4, donde se ubicará un nuevo punto de acceso en caso de que la infraestructura no sea capaz de gestionar el suficiente número de usuarios, por lo que se estima una longitud adicional de cableado (no canalización, se aprovechará la existente) de otros 171.8 metros. Finalmente, se estima una longitud total un poco mayor debido a que habrá parte del cable alojada dentro del centro de cableado sin canalizar que será conectada al conmutador, por lo que se ha estimado una longitud de cable de aproximadamente **580 metros.** Tras interconectar los puntos de acceso con el conmutador más cercano a ellos, el esquema de conexionado final es el mostrado en la Figura 49.

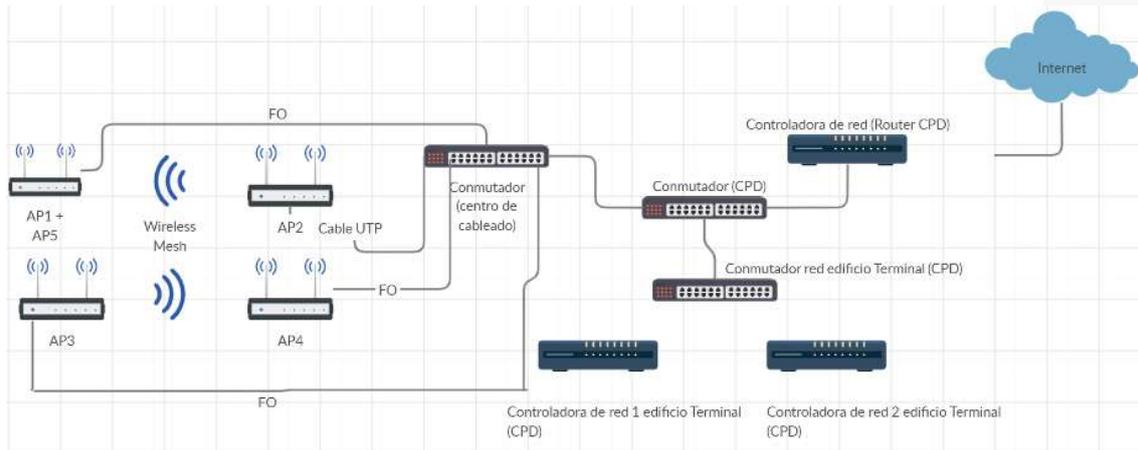


Figura 49: Esquema de conexión final de la infraestructura de red

Para proveer de corriente a los diferentes puntos de acceso, existen dos alternativas. La primera de ellas es utilizar la red eléctrica de corriente alterna a 240 voltios, 50-60 Hercios distribuida por las marquesinas. Para ello, será necesaria la instalación de una base de enchufe por cada punto de acceso, donde será conectado el transformador AC/DC que alimenta los puntos de acceso. La segunda de las alternativas requiere la canalización de cable ethernet desde el conmutador situado en el centro de cableado más cercano para proporcionar alimentación *Power Over Ethernet*, algo que resultaría ineficiente ya que la acometida de la instalación se realizará utilizando fibra óptica entre los puntos de acceso y el conmutador.

A modo de conclusión de este capítulo, el siguiente apartado contiene un informe técnico final de la instalación, dando una descripción general del proyecto en base a los capítulos anteriores, además de recoger información sobre la normativa española vigente para instalaciones de este tipo en exteriores. Además de ello, se recoge el presupuesto total de la instalación, desglosado en precios por componente adquirido y/o tareas realizadas.

## 4.4. Informe técnico

Tabla 5: Descripción del proyecto técnico llevado a cabo

Descripción	<p>Proyecto de estudio de instalación de red inalámbrica en el parking público del Aeropuerto Seve Ballesteros – Santander</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Tipo de despliegue: Red exterior</li> <li>- Tipo de red: Pública y privada</li> </ul>
Situación	<p>Tipo de vía: Calle  Nombre de vía: C/ Aeropuerto  Localidad: Maliaño  Municipio: Camargo  Provincia: Cantabria  Código Postal: 39600  Coordenadas: 43°25'37"N 3°49'12"O</p>
Solicitante	<p>Empresa: Aeropuertos Españoles y Navegación Aérea (AENA)  Sede Fiscal: Calle Peonías 12  Población: Madrid  Código Postal: 28042  Provincia: Madrid</p>
Datos del Ingeniero Competente	<p>Nombre: Juan José Lavín Montes  D.N.I.: 72180902W  Titulación: Graduado en Ingeniería de las Tecnologías de la Telecomunicación (mención: Telemática)</p>
Visado del Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación	
Aprobado por:	
Fecha: 15/10/2019	

#### 4.4.1. Datos de los puntos de acceso instalados

En este apartado del proyecto técnico, se describirán las posiciones y configuraciones de cada punto de acceso situado en el parking público del aeropuerto, acompañados de sus localizaciones en los planos provistos por AENA del mencionado aparcamiento utilizando el software AutoCad.

*Tabla 6: Características del punto de acceso AP1*

<b>Nombre del punto de acceso</b>	AP1
<b>Coordenadas de localización</b>	43.422943N, -3.824441O
<b>Canal y Frecuencia de trabajo (2.4 GHz)</b>	Canal 6, 2437.00 MHz
<b>Canal y Frecuencia de trabajo (5 GHz)</b>	Canal 36, 5180.00 MHz
<b>Capacidad media en carga (2.4 GHz)</b>	75 Mbps
<b>Capacidad media en carga (5 GHz)</b>	133 Mbps
<b>Capacidad media de pico (2.4 GHz)</b>	183 Mbps
<b>Capacidad media de pico (5 GHz)</b>	100 Mbps
<b>Nivel de señal mínimo estimado (2.4 GHz)</b>	-75 dBm
<b>Nivel de señal mínimo estimado (5 GHz)</b>	-85 dBm

*Tabla 7: Características del punto de acceso AP2*

<b>Nombre del punto de acceso</b>	AP2
<b>Coordenadas de localización</b>	43.422542N, -3.823767O
<b>Canal y Frecuencia de trabajo (2.4 GHz)</b>	Canal 14, 2477.00 MHz
<b>Canal y Frecuencia de trabajo (5 GHz)</b>	Canal 64, 5320.00 MHz
<b>Capacidad media en carga (2.4 GHz)</b>	75 Mbps
<b>Capacidad media en carga (5 GHz)</b>	133 Mbps
<b>Capacidad media de pico (2.4 GHz)</b>	183 Mbps
<b>Capacidad media de pico (5 GHz)</b>	100 Mbps
<b>Nivel de señal mínimo estimado (2.4 GHz)</b>	-75 dBm
<b>Nivel de señal mínimo estimado (5 GHz)</b>	-85 dBm

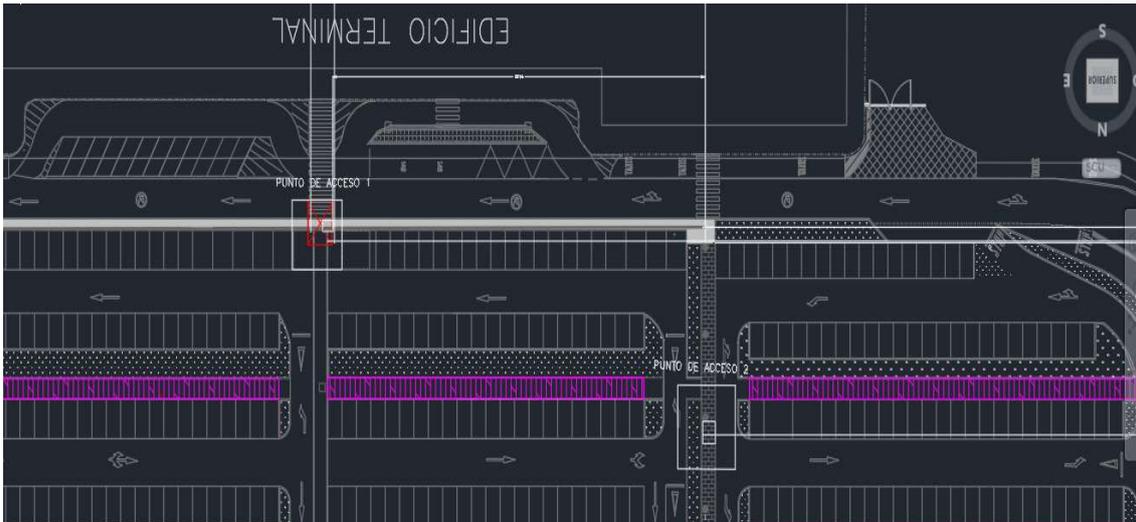


Figura 50: Ubicación de los puntos de acceso AP1 y AP2 en los planos del parking del aeropuerto

Tabla 8: Características del punto de acceso AP3

<b>Nombre del punto de acceso</b>	AP3
<b>Coordenadas de localización</b>	43.422085N, -3.824017O
<b>Canal y Frecuencia de trabajo (2.4 GHz)</b>	Canal 3, 2422.00 MHz
<b>Canal y Frecuencia de trabajo (5 GHz)</b>	Canal 140, 5700.00 MHz
<b>Capacidad media en carga (2.4 GHz)</b>	75 Mbps
<b>Capacidad media en carga (5 GHz)</b>	133 Mbps
<b>Capacidad media de pico (2.4 GHz)</b>	183 Mbps
<b>Capacidad media de pico (5 GHz)</b>	100 Mbps
<b>Nivel de señal mínimo estimado (2.4 GHz)</b>	-75 dBm
<b>Nivel de señal mínimo estimado (5 GHz)</b>	-85 dBm

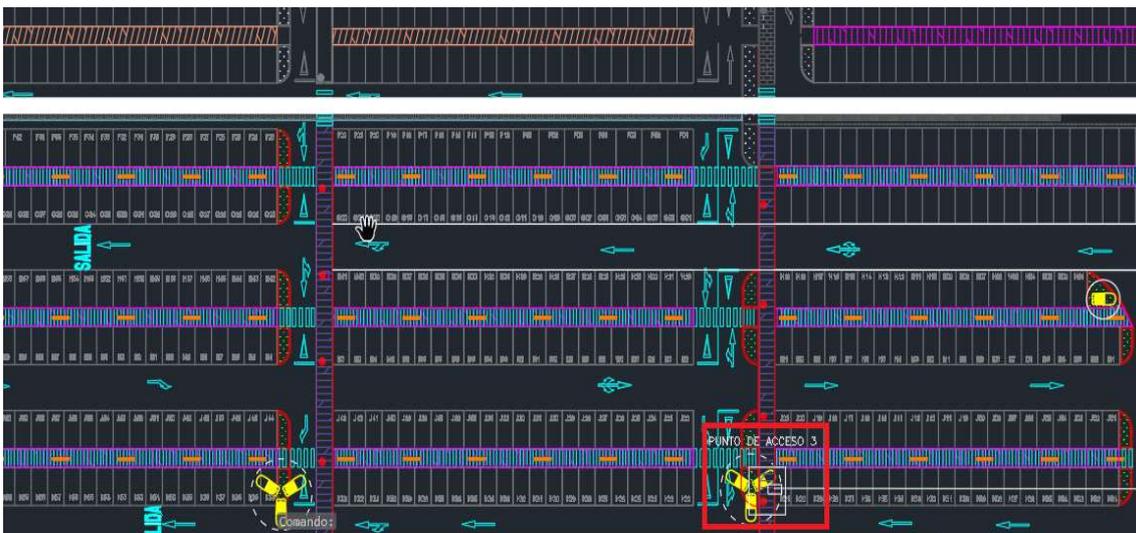


Figura 51: Ubicación del punto de acceso AP3 en los planos del parking del aeropuerto

Tabla 9: Características del punto de acceso AP4

Nombre del punto de acceso	AP4
Coordenadas de localización	43.422513N, -3.825651O
Canal y Frecuencia de trabajo (2.4 GHz)	Canal 1, 2412.00 MHz
Canal y Frecuencia de trabajo (5 GHz)	Canal 100, 5500.00 MHz
Capacidad media en carga (2.4 GHz)	75 Mbps
Capacidad media en carga (5 GHz)	133 Mbps
Capacidad media de pico (2.4 GHz)	183 Mbps
Capacidad media de pico (5 GHz)	100 Mbps
Nivel de señal mínimo estimado (2.4 GHz)	-75 dBm
Nivel de señal mínimo estimado (5 GHz)	-85 dBm

Tabla 10: Características del potencial punto de acceso AP5 en caso de necesitarse ampliación de la infraestructura

Nombre del punto de acceso	AP5 (No existente, posible futura instalación)
Coordenadas de localización	43.422513N, -3.825651O
Canal y Frecuencia de trabajo (2.4 GHz)	Canal 13, 2472.00 MHz
Canal y Frecuencia de trabajo (5 GHz)	Canal 64, 5320.00 MHz
Capacidad media en carga (2.4 GHz)	75 Mbps
Capacidad media en carga (5 GHz)	133 Mbps
Capacidad media de pico (2.4 GHz)	183 Mbps
Capacidad media de pico (5 GHz)	100 Mbps
Nivel de señal mínimo estimado (2.4 GHz)	-75 dBm
Nivel de señal mínimo estimado (5 GHz)	-85 dBm



Figura 52: Ubicación del punto de acceso AP4 y el posible futuro punto de acceso AP5 en los planos del parking del aeropuerto

## 4.4.2. Consideraciones legales y normativa

- De acuerdo con la Comisión del Mercado de las Telecomunicaciones y su Circular 1/2010 [13] por la que se regulan las condiciones de explotación de redes y la prestación de servicios de comunicaciones radioeléctricas en el Estado, se han de tener en cuenta las siguientes restricciones:
  - Gestión del ancho de banda asignado a cada usuario.
  - Limitaciones horarias y de tiempos de conexión mediante diferentes métodos (por dirección IP o dirección MAC).
  - Filtrado de protocolos y puertos con objeto de restringir la explotación masiva del ancho de banda mediante descargas de contenido o visualización de vídeo de muy alta calidad (1080p en adelante).
  - Dotar únicamente de cobertura Wi-Fi al área de interés, con objeto de no interferir a los sistemas de comunicaciones colindantes.
- Posibilidad de ampliación de la infraestructura por parte de la organización contratadora del proyecto (AENA), así como provisionamiento de nuevos servicios utilizando la citada infraestructura.
- Obligación de ceñirse a las normas estipuladas por el Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias (CNAF) y las normas de Utilización Nacional (UN-51, UN-85 y UN-128, recogidas en Orden ETU/1033/2017 del Boletín Oficial del Estado [14]).
- Adquisición de permisos municipales y/o gubernamentales en el emplazamiento de la infraestructura para realizar las acometidas de obra necesarias.
- Existencia de marcado CE en todos los productos adquiridos, tal y como determina la Unión Europea en dispositivos habilitados para operar entre sus fronteras. Sellado de todos los conectores y cumplimiento de la normativa nacional vigente para instalaciones en exteriores.
- La gestión y coste de la infraestructura serán asumidos por la organización contratante del servicio (AENA), así como los suministros de materiales y las posibles futuras ampliaciones de la infraestructura.

### 4.4.3. Legislación para instalaciones de red inalámbricas

Al realizar instalaciones de red inalámbricas, es necesario atenerse a la normativa vigente, tanto nacional como comunitaria de la UE. Las siguientes líneas recogen las normas a seguir a la hora de acometer infraestructuras de este tipo:

- Real Decreto 1066/2001 del 28 de septiembre para límites de exposición a campo electromagnético de baja intensidad y emisiones radioeléctricas.
- Orden CTE/1296/2003 del 14 de mayo para el desarrollo del Reglamento de las Infraestructuras Comunes de Telecomunicaciones, aprobada por el Real Decreto 401/2003 del 4 de abril.
- Real Decreto 1627/1997 del 24 de octubre para el establecimiento de disposiciones mínimas de seguridad y salud en obras de construcción.
- Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión, aprobado por el Real Decreto 842/2002 del 2 de agosto
- Real Decreto – Ley 1/1998 del 27 de febrero para infraestructuras comunes en edificaciones para el acceso a los servicios de telecomunicación.

### 4.4.4. Estudio de seguridad y salud

#### 4.4.4.1. Prevención de riesgos laborales

Es obligatorio el cumplimiento de las disposiciones presentes en:

- Real Decreto 1316/1989 del 27 de octubre sobre protección de los trabajadores frente a los riesgos de exposición a sonidos por encima de 60 decibelios.
- Estatuto de los trabajadores.
- Real Decreto 1407/92 del 20 de noviembre, modificado por el Real Decreto 159/1995 del 3 de febrero y la Orden 20/02/97, sobre regulación de las condiciones para la comercialización y libre circulación intracomunitaria de equipos de protección individual.
- Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el trabajo (artículo 24 y capítulo VII del título II).

- Real Decreto 458/1997 del 14 de abril sobre disposiciones mínimas de material de señalización de seguridad y salud.
- Real Decreto 773/1993 del 30 de mayo, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud en la utilización por parte de los trabajadores de equipos de protección individual.
- Ley 54/2003 del 12 de diciembre sobre la reforma del marco normativo de la prevención de riesgos laborales.
- Real Decreto 614/2001 del 8 de junio sobre disposiciones mínimas en el ámbito de protección de la salud y seguridad de los trabajadores frente al riesgo eléctrico.
- Real Decreto 1627/1997 del 24 de octubre sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción.
- Real Decreto 488/1997 del 14 de abril sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud a la hora de realizar trabajo con equipos que incluyen pantallas electrónicas.
- Real Decreto 1215/97 sobre equipos de trabajo.
- Real Decreto 39/1997 del 17 de enero sobre el Reglamento de los servicios de Prevención de riesgos.
- Ley 31/1995 del 8 de noviembre de prevención de Riesgos Laborales.
- Reglamento de Régimen Interno de la empresa constructora. De existir, no debe oponerse a ninguna de las disposiciones mencionadas con anterioridad.

#### 4.4.4.2. Evaluación de riesgos debidos al entorno

Es necesario tener en cuenta, que los trabajadores transitan por zonas en obras y se exponen a riesgos debidos a este entorno, entre ellos:

- Caída de herramientas, operarios y materiales transportados a nivel y a niveles inferiores.
- Electroclusiones o contactos eléctricos, directos e indirectos, con las instalaciones eléctricas de la obra.
- Atrapamiento y aplastamiento en extremidades durante el transporte de material de obra (escaleras, andamios, poleas, etcétera).

- Caída de escaleras móviles.
- Salpicaduras a los ojos de materiales corrosivos.
- Caídas de operarios al vacío.
- Lesiones, pinchazos y cortes en extremidades.
- Golpes o cortes con herramientas
- Pérdida del equilibrio o caídas en caso de vientos superiores a 50 Km/hora.

#### 4.4.4.3. Condiciones de los medios de protección y plataformas de trabajo

El uso de prendas de protección personal nunca representará un riesgo para el trabajador. De igual manera, todas las prendas y elementos de protección personal y colectiva tendrán fijado un período de vida útil tras el cual serán desechadas con objeto de proteger la integridad de los trabajadores. De igual manera, las plataformas y accesos utilizados por parte de los operarios deben atenerse a la normativa actual destinada al ámbito de obra:

- Cuando hayan sufrido cualquier tipo de accidente que merme su capacidad protectora.
- Cuando se produzca un deterioro precoz en una prenda por circunstancias del trabajo, momento en el que será necesaria su sustitución independientemente de si ha vencido o no su período de vida útil.
- Cuando debido a la fatiga sufrida en el uso del equipamiento, se produzcan holguras o tolerancias superiores a las especificadas por el fabricante.
- Cumplimiento del Real Decreto 773/97 sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud en la utilización por parte de los trabajadores de equipos de protección individual.
- Marcado CE para el uso de materiales de protección en la Comunidad Europea.
- Entrar dentro de las Normas de Homologación del Ministerio de Trabajo (Orden 17/05/74) y norma del Boletín Oficial de Estado 19/05/74.
- Las escaleras de mano deben presentar una altura superior a 1 metro e inferior a 3 metros

- En caso de disponer de escaleras de madera, éstas deberán estar compuestas por largueros de una sola pieza.
- Las escaleras de mano deberán ir provistas de zapatas de goma antideslizantes, las cuales estarán correctamente sujetas con objeto de evitar caídas
- En caso de disponer de escaleras de tijera, éstas deben disponer de zapatas antideslizantes y sus correspondientes tirantes.

## 4.5. Presupuesto

Se comenzará con el desglose del precio unitario de cada producto adquirido, así como la estimación de costes de la obra civil que la instalación conlleva.

Tabla 11: Presupuesto estimado de la infraestructura

Infraestructura Wi-Fi exterior		Presupuesto	
Descripción	Unidades	Precio Unitario	Importe
Puntos de acceso para exteriores	4	679,23 €	2.716,92 €
Base de enchufes	4	25,00 €	100,00 €
Convertidores Optoeléctricos	3	48,77 €	146,31 €
Cable de fibra óptica monomodo estándar de 2 fibras para uso en exteriores	580 metros	0,63 €/m	365,40 €
Latiguillos de fibra óptica para conexión final entre los APs y el conmutador	6	11 €	66 €
Tubo rígido de policarbonato para canalización de cableado	405 metros	3,12 €/m	1.263,60 €
Antenas duales (2,4 y 5 GHz)	12	233,47 €	2.801,64 €
<b>Total</b>	-	-	7.553,47 €
Obra civil e instalación		Horas	Precio Unitario
Obra civil	80	18 €	1.440 €
Instalación	60	25 €	1.500 €
<b>Total Instalación e infraestructura</b>		-	-
			10.493,47 €
Gastos generales y beneficio industrial (19 %)			1993,76 €
Costes de estudio de seguridad y salud (≥ 1.5%)			210,86 €
<b>Presupuesto Base total</b>			12.698,09 €
IVA (21 %)			2.666,60 €
<b>Total</b>			<b>15.364,69 €</b>

# Capítulo 5: Conclusiones y líneas futuras

## 5. Conclusiones y líneas futuras

El estudio realizado a lo largo de este proyecto permite dotar al aparcamiento público del Aeropuerto Seve Ballesteros – Santander de conexión inalámbrica a internet, basándose en los estándares IEEE 802.11. En concreto, el estudio realizado ha sido enfocado al estudio de cobertura inalámbrica, tratando de conseguir la mayor provisión de servicio a los diferentes usuarios que deseen utilizar la red desplegada.

Además del estudio realizado en los aspectos radio de la red, sería necesario un posterior análisis del grado de servicio provisto a los diferentes usuarios y un análisis del tráfico intercambiado con objeto de evaluar si el despliegue es lo suficientemente robusto frente a conexiones masivas de usuarios por encima del número estimado en este proyecto. De no ser así, sería necesario realizar una ampliación del despliegue, ubicando un nuevo punto de acceso para el que ya habría sido realizada canalización (punto de acceso AP5).

Tras el estudio de análisis del rendimiento del despliegue, llegaría la hora de evaluar los métodos de acceso a la red por parte de los usuarios. Una de las opciones sería el conocido método de registro de usuario y contraseña utilizando una dirección de correo para llevar a cabo el registro.

Otra alternativa más segura tanto para la organización del aeropuerto como para los diferentes usuarios, sería la división de la red en dos diferentes, una organizativa para los empleados de AENA y otra red protegida mediante clave de acceso WPA2 para los clientes del aeropuerto, a los cuales se les proveerá la clave al utilizar cualquiera de los servicios del centro aeroportuario.

La última opción es la instalación de métodos *HotSpot*, es decir, provisionamiento de tickets de acceso limitado mediante claves temporales o códigos QR que el usuario utilizará en una página web propietaria de AENA para acceder a la red. Este método evitaría el uso fraudulento de la red por parte de usuarios que ya hayan utilizado los servicios y que su intención sea aprovecharse de poseer la clave para conectarse indefinidamente a la red.

## Capítulo 6: Referencias

## 6. Referencias

- [1] – Página Web oficial del Aeropuerto Seve Ballesteros - Santander - <http://www.aena.es/es/aeropuerto-santander/transporte-y-parking.html>
- [2] – Número medio anual de pasajeros en aeropuertos AENA - [https://www.hosteltur.com/126147\\_aena-cierra-2018-con-la-cifra-record-de-264-millones-de-pasajeros.html](https://www.hosteltur.com/126147_aena-cierra-2018-con-la-cifra-record-de-264-millones-de-pasajeros.html)
- [3] – Número medio anual de pasajeros en el Aeropuerto Seve Ballesteros – Santander - [https://es.wikipedia.org/wiki/Aeropuerto\\_de\\_Santander#Estad%C3%ADsticas](https://es.wikipedia.org/wiki/Aeropuerto_de_Santander#Estad%C3%ADsticas)
- [4] – Tejada, Iván (2008) - Descubrir: Los aeropuertos - cap. 1, p.8
- [5] – Tejada, Iván (2008) – Descubrir : Los aeropuertos – cap. 3, p. 29
- [6] – Tejada, Iván (2008) - Descubrir: Los aeropuertos - cap. 3, p.44
- [7] – Unión Internacional de Telecomunicaciones - Plan de frecuencias banda ISM - <https://www.itu.int/net/ITU-R/terrestrial/faq/index.html#g013>
- [8] – Boletín Oficial del Estado - Plan de frecuencias banda ISM - <https://www.itu.int/net/ITU-R/terrestrial/faq/index.html#g013>
- [9] – Arranz García, Marta – Redes de área local inalámbricas: el estándar IEEE 802.11 – Universidad de Cantabria
- [10] – IEEE 802.11 Wi-Fi Standard - <https://www.duckware.com/tech/Wi-Fi-in-the-us.html#Wi-Fi4>
- [11] – Haasz, Jodi - IEEE - Draft Standard for Ethernet Amendment: Maintenance #13: Power over Ethernet over 2 pairs
- [12] - Benou, Marc / Voloh, Ilia - IEEE Approved Draft Guide for Power System Protective Relay Applications over Digital Communication Channels (2012) - p.26, Tabla 775, cap.4 sección 2.1.7
- [13] – Una Norma Española – Norma UNE-EN 50267-2-2
- [14] – Comisión del Mercado de las Telecomunicaciones - Circular 1/2010 - <https://www.cnmc.es/expedientes/cirdtsa00110>
- [15] – Boletín Oficial del Estado - Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias - <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2017-12318>

# Anexos

## Anexos

### Anexo A – Hojas de características del hardware de red



Data Sheet

#### Cisco 5520 Wireless Controller

Optimized for 802.11ac Wave2 performance, the Cisco® 5520 Wireless Controller is a highly scalable, service-rich, resilient, and flexible platform that enables nextgeneration wireless networks for medium-sized to large enterprise campus and branch deployments.

#### Product Overview

The Cisco 5520 Wireless Controller provides centralized control, management, and troubleshooting for high-scale deployments in service provider and large campus deployments. It offers flexibility to support multiple deployment modes in the same controller: for example, centralized mode for campus, Cisco FlexConnect™ mode for lean branches managed over the WAN, and mesh (bridge) mode for deployments where full Ethernet cabling is unavailable. As a component of the Cisco Unified [Wireless Network](#), this controller provides real-time communications between [Cisco Aironet® access points](#), the [Cisco Prime™ Infrastructure](#), and the [Cisco Mobility Services Engine](#), and is interoperable with other Cisco controllers.

**Figure 1.** Cisco 5520 Wireless Controller



#### Features and Benefits

The Cisco 5520 Wireless Controller, optimized for 802.11ac Wave2 performance, high scale, and enhanced system uptime, supports:

- Subsecond access point and client failover for uninterrupted application availability.
- Extraordinary visibility into application traffic, using Cisco Application Visibility and Control (AVC), the technology that includes the Network Based Application Recognition 2 (NBAR2) engine, Cisco's deep packet inspection (DPI) capability. This allows to mark, prioritize, and block to conserve network bandwidth and enhance security. Customers can optionally export the flows to Cisco Prime Infrastructure or a thirdparty NetFlow collector.

- Embedded wireless bring-your-own-device (BYOD) policy classification engine that allows classification of client devices and application of user group policies.
- Deployment of guest access and Bonjour and Chromecast services in centralized deployments.
- Software-defined segmentation with Cisco TrustSec® technology, reducing access control list (ACL) maintenance, complexity, and overhead.
- Integrated Cisco CleanAir® technology, providing the industry’s only self-healing and self-optimizing wireless network.
- Simplified GUI wizard for quick setup and intuitive dashboards for monitoring and troubleshooting.

**Table 1.** Features and Benefits

Feature	Benefits
<b>Scalability and performance</b>	<p>Optimized to enable 802.11ac Wave 2 next-generation networks, supporting:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 20-Gbps throughput</li> <li>• 1500 access points</li> <li>• 20,000 clients</li> <li>• 4096 VLANs</li> </ul>
<b>RF management</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proactively identifies and mitigates signal interference for better performance</li> <li>• Provides both real-time and historical information about RF interference affecting network performance across controllers, through systemwide integration with <a href="#">Cisco CleanAir technology</a></li> </ul>
<b>Multimode with indoor, outdoor mesh access points</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Versatile controller with support for centralized, distributed, and mesh deployments to be used at different places in the network, offering maximum flexibility for medium-sized campus, enterprise, and branch networks</li> <li>• Centralized control, management, and client troubleshooting</li> <li>• Seamless client access in the event of a WAN link failure (local data switching)</li> <li>• Highly secure guest access</li> <li>• Efficient access point upgrade that optimizes the WAN link utilization for downloading access point images</li> <li>• Cisco OfficeExtend technology that supports corporate wireless service for mobile and remote workers with secure wired tunnels to indoor Cisco Aironet access points supporting OfficeExtend mode</li> </ul>
<b>Comprehensive end-to-end security</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Offers Control and Provisioning of Wireless Access Points (CAPWAP)-compliant Datagram Transport Layer Security (DTLS) encryption on the control plane between access points and controllers across remote WAN links</li> <li>• Management frame protection detects malicious users and alerts network administrators</li> <li>• Rogue detection for Payment Card Industry (PCI) compliance</li> <li>• Rogue access point detection and detection of denial-of-service attacks</li> </ul>
<b>End-to-end voice</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Supports <a href="#">Cisco Unified Communications</a> for improved collaboration through messaging, presence, and conferencing</li> <li>• Supports all <a href="#">Cisco Unified IP Phones</a> for cost-effective, real-time voice services</li> </ul>
<b>Fault tolerance and high availability</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Subsecond access point and client failover for uninterrupted application availability</li> <li>• Redundant 1 Gigabit Ethernet or 10 Gigabit Ethernet connectivity</li> <li>• Solid-state device-based storage - no moving parts</li> <li>• Optional redundant, hot-swappable power supply with no incremental system downtime</li> <li>• Enhanced system uptime with fast system restarts</li> </ul>
<b>Cisco Enterprise Wireless Mesh</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Allows access points to dynamically establish wireless connections without the need for a physical connection to the wired network</li> <li>• Available on select Cisco Aironet access points, Enterprise Wireless Mesh is ideal for warehouses, manufacturing floors, shopping centers, and any other location where extending a wired connection may prove difficult or aesthetically unappealing</li> </ul>
<b>WLAN express setup</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Simplified GUI wizard for quick setup and intuitive dashboards for monitoring and troubleshooting</li> </ul>
<b>High-performance video</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cisco VideoStream technology optimizes the delivery of video applications across the WLAN</li> </ul>
<b>Mobility, security, and management for IPv6 and dual-stack clients</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Highly secure, reliable wireless connectivity and consistent end-user experience</li> <li>• Increased network availability through proactive blocking of known threats</li> <li>• Equips administrators for IPv6 planning, troubleshooting, and client traceability from Cisco Prime Infrastructure</li> </ul>
<b>Environmentally responsible</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Organizations may choose to turn off access point radios to reduce power consumption during off-peak hours</li> </ul>

## Licensing

The Cisco 5520 Wireless Controller provides right-to-use (with End User License Agreement [EULA] acceptance) license enablement for faster time to deployment, with flexibility to add additional access points (up to 1500 access points) as business needs grow.

- Additional access point capacity licenses can be added over time.
- Right-to-use licensing (with EULA acceptance) for faster and easier license enablement.

Starting with the 8.2 release, the Cisco 5520 Wireless Controller also provides an option to enable licensing using [Cisco Smart Software Licensing](#), designed for easy monitoring and consumption of licenses.

- Manage license deployments with real-time visibility to ownership and consumption.
- Pools license entitlements in a single account. Licenses can be moved freely through the network– wherever they are needed.

## Product Specifications

**Table 2.** Product Specifications

Item	Specifications
<b>Wireless</b>	IEEE 802.11a, 802.11b, 802.11g, 802.11d, WMM/802.11e, 802.11h, 802.11n, 802.11k, 802.11r, 802.11u, 802.11w, 802.11ac Wave1 and Wave2
<b>Wired/switching/routing</b>	IEEE 802.3 10BASE-T, IEEE 802.3u 100BASE-TX specification, 1000BASE-T, 1000BASE-SX, 1000-BASE-LH, IEEE 802.1Q VLAN tagging, IEEE 802.1AX Link Aggregation
<b>Data request for comments (RFC)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• RFC 768 UDP</li> <li>• RFC 791 IP</li> <li>• RFC 2460 IPv6</li> <li>• RFC 792 ICMP</li> <li>• RFC 793 TCP</li> <li>• RFC 826 ARP</li> <li>• RFC 1122 Requirements for Internet Hosts</li> <li>• RFC 1519 CIDR</li> <li>• RFC 1542 BOOTP</li> <li>• RFC 2131 DHCP</li> <li>• RFC 5415 CAPWAP Protocol Specification</li> <li>• RFC 5416 CAPWAP Binding for 802.11</li> </ul>
<b>Security standards</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wi-Fi Protected Access (WPA)</li> <li>• IEEE 802.11i (WPA2, RSN)</li> <li>• RFC 1321 MD5 Message-Digest Algorithm</li> <li>• RFC 1851 ESP Triple DES Transform</li> <li>• RFC 2104 HMAC: Keyed Hashing for Message Authentication</li> <li>• RFC 2246 TLS Protocol Version 1.0</li> <li>• RFC 2401 Security Architecture for the Internet Protocol</li> <li>• RFC 2403 HMAC-MD5-96 within ESP and AH</li> <li>• RFC 2404 HMAC-SHA-1-96 within ESP and AH</li> <li>• RFC 2405 ESP DES-CBC Cipher Algorithm with Explicit IV</li> <li>• RFC 2407 Interpretation for ISAKMP</li> <li>• RFC 2408 ISAKMP</li> <li>• RFC 2409 IKE</li> <li>• RFC 2451 ESP CBC-Mode Cipher Algorithms</li> <li>• RFC 3280 Internet X.509 PKI Certificate and CRL Profile</li> <li>• RFC 4347 Datagram Transport Layer Security</li> <li>• RFC 5426 TLS Protocol Version 1.2</li> </ul>
<b>Encryption</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wired Equivalent Privacy (WEP) and Temporal Key Integrity Protocol-Message Integrity Check (TKIP-MIC):</li> </ul>

RC4 40, 104 and 128 bits (both static and shared keys)

- Advanced Encryption Standard (AES): Cipher Block Chaining (CBC), Counter with CBC-MAC (CCM), Counter with Cipher Block Chaining Message Authentication Code Protocol (CCMP)
- Data Encryption Standard (DES): DES-CBC, 3DES
- Secure Sockets Layer (SSL) and Transport Layer Security (TLS): RC4 128-bit and RSA 1024- and 2048-bit
- DTLS: AES-CBC
- IPsec: DES-CBC, 3DES, AES-CBC
- 802.1AE MACsec encryption

Item	Specifications
<b>Authentication, authorization, and accounting (AAA)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• IEEE 802.1X</li> <li>• RFC 2548 Microsoft Vendor-Specific RADIUS Attributes</li> <li>• RFC 2716 PPP EAP-TLS</li> <li>• RFC 2865 RADIUS Authentication</li> <li>• RFC 2866 RADIUS Accounting</li> <li>• RFC 2867 RADIUS Tunnel Accounting</li> <li>• RFC 2869 RADIUS Extensions</li> <li>• RFC 3576 Dynamic Authorization Extensions to RADIUS</li> <li>• RFC 5176 Dynamic Authorization Extensions to RADIUS</li> <li>• RFC 3579 RADIUS Support for EAP</li> <li>• RFC 3580 IEEE 802.1X RADIUS Guidelines</li> <li>• RFC 3748 Extensible Authentication Protocol (EAP)</li> <li>• Web-based authentication</li> <li>• TACACS support for management users</li> </ul>
<b>Management</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Simple Network Management Protocol (SNMP) v1, v2c, v3</li> <li>• RFC 854 Telnet</li> <li>• RFC 1155 Management Information for TCP/IP-Based Internets</li> <li>• RFC 1156 MIB</li> <li>• RFC 1157 SNMP</li> <li>• RFC 1213 SNMP MIB II</li> <li>• RFC 1350 TFTP</li> <li>• RFC 1643 Ethernet MIB</li> <li>• RFC 2030 SNMP</li> <li>• RFC 2616 HTTP</li> <li>• RFC 2665 Ethernet-Like Interface Types MIB</li> <li>• RFC 2674 Definitions of Managed Objects for Bridges with Traffic Classes, Multicast Filtering, and Virtual Extensions</li> <li>• RFC 2819 RMON MIB</li> <li>• RFC 2863 Interfaces Group MIB</li> <li>• RFC 3164 Syslog</li> <li>• RFC 3414 User-Based Security Model (USM) for SNMPv3</li> <li>• RFC 3418 MIB for SNMP</li> <li>• RFC 3636 Definitions of Managed Objects for IEEE 802.3 MAUs</li> <li>• Cisco private MIBs</li> </ul>
<b>Management interfaces</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Web-based: HTTP/HTTPS</li> <li>• Command-line interface: Telnet, Secure Shell (SSH) Protocol, serial port</li> <li>• Cisco Prime Infrastructure</li> </ul>
<b>Interfaces and indicators</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 x 10 Gigabit Ethernet interfaces or 2 x 1 Gigabit Ethernet interfaces</li> <li>• Small Form-Factor Pluggable Plus (SFP+) options (only Cisco SFP+s supported), including S-Class Optics</li> <li>• Small Form-Factor Pluggable (SFP) options (only Cisco SFPs supported), including S-Class Optics</li> <li>• 1 x service port: 1 Gigabit Ethernet port (RJ-45)</li> <li>• 1 x redundancy port: 1 Gigabit Ethernet port (RJ-45)</li> <li>• 1 x Cisco Integrated Management Controller port: 10/100/1000 Ethernet (RJ-45)</li> <li>• 1 x console port: Serial port (RJ-45)</li> <li>• LED indicators: Network Link, Diagnostics</li> </ul>
<b>Physical dimensions</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dimensions (WxDxH): 18.98 x 30.98 x 1.70 in. (48.2 x 78.7 x 4.32 cm) including handles</li> <li>• Weight: 30 lb (13.6 kg) with 1 power supply</li> </ul>
<b>Environmental conditions</b>	<p>Air temperature:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Appliance operating: 41° to 104°F (5° to 40°C), derate the maximum temperature by 1.0°C per every 1000 ft. (305m) of altitude above sea level</li> <li>• Appliance nonoperating: -40° to 149°F (-40° to 65°C)</li> <li>• Humidity: Appliance operating: 10% to 90%; noncondensing at 82°F (28°C)</li> <li>• Appliance nonoperating: 5% to 93% at 82°F (28°C)</li> </ul>
<b>Item</b>	<b>Specifications</b>
	Altitude:

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Appliance operating: 0 to 3000m (0 to 10,000 ft.)</li> <li>• Appliance nonoperating: 0 to 12,192m (0 to 40,000 ft.) Electrical input:</li> <li>• AC input frequency range: 47 to 63 Hz • Input voltage range:             <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Minimum: 90 VAC</li> <li>◦ Maximum: 264 VAC</li> <li>◦ Maximum Power 190W</li> </ul> </li> <li>• Input kilovolt-amperes (kVA), approximately:             <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Minimum: 0.090 kVA</li> <li>◦ Maximum: 0.700 kVA • Heat dissipation: 650 BTU/hr • Sound power level measure:                 <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ A-weighted per ISO 7779 LpAm (dBA), operation at 77°F (25°C): 49.3</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>
<b>Regulatory compliance</b>	CE Markings per directives 2004/108/EC and 2006/95/EC Safety: <ul style="list-style-type: none"> <li>• UL 60950-1 Second Edition</li> <li>• CAN/CSA-C22.2 No. 60950-1 Second Edition</li> <li>• EN 60950-1 Second Edition</li> <li>• IEC 60950-1 Second Edition</li> <li>• AS/NZS 60950-1</li> <li>• GB4943 2001 EMC - Emissions:</li> <li>• 47CFR Part 15 (CFR 47) Class A</li> <li>• AS/NZS CISPR22 Class A</li> <li>• EN55022 Class A</li> <li>• ICES003 Class A VCCI Class A</li> <li>• EN61000-3-2 EN61000-3-3 KN22 Class A</li> <li>• CNS13438 Class A EMC - Immunity:</li> <li>• EN55024</li> <li>• CISPR24</li> <li>• EN300386</li> <li>• KN24</li> </ul>

### Warranty Information

Find warranty information on Cisco.com at the [Product Warranties](#) page.

The Cisco 5520 Wireless Controller is backed by a warranty that includes:

- Three years parts coverage
- 10 day AR - Cisco or its service center will use commercially reasonable efforts to ship a replacement within ten (10) working days after receipt of the RMA request.

Actual delivery times might vary depending on customer location

This warranty also includes a 90-day software warranty on media and ongoing downloads of BIOS, firmware, and drivers.

### Ordering Information

For ordering details, please consult the part numbers in Table 3. To place an order, visit the [Cisco How to Buy homepage](#). To download software, visit the [Cisco Software Center](#).

**Table 3.** Ordering Information

Product Name	Part Number	Services 8x5xNBD
Cisco 5520 Wireless Controller	AIR-CT5520-K9	CON-SNT-AIRT5520

<b>Cisco 5520 Wireless Controller supporting 50 access points</b>	AIR-CT5520-50-K9	CON-SNT-AIRT5550
<b>Cisco 5520 Wireless Controller upgrade SKU</b>	LIC-CT5520-UPG	CON-ECMU-LICGT552
<b>Cisco 5520 Wireless Controller 1 access point adder license</b>	LIC-CT5520-1A	CON-ECMU-LICT5520
<b>Cisco 5520 Wireless Controller DTLS license</b>	LIC-CT5520-DTLS-K9	
<b>Spare Power Supply</b>	AIR-PSU1-770W=	
<b>Spare SSD for Cisco Wireless Controller 5520 and 8540</b>	AIR-SD240G0KS2-EV=	
<b>Spare FAN - Cisco 5520 Wireless Controller</b>	AIR-FAN-C220M4=	
<b>Rail Mounting Kit</b>	UCSC-RAILB-M4=	

### Cisco Services

Get ready for your next-generation wireless network with our [Assessment Services](#). They help you reduce deployment cost and adoption delays by identifying investment requirements. Our services also make it easier for your operations team to support new solutions that are being introduced.

Lower support cost for your business with Cisco [SMARTnet® Service](#) by reducing downtime with flexible hardware coverage, anytime access to Cisco engineers, and an extensive range of resources, tools, and training.

### Cisco Capital

#### Financing to Help You Achieve Your Objectives

Cisco Capital can help you acquire the technology you need to achieve your objectives and stay competitive. We can help you reduce CapEx. Accelerate your growth. Optimize your investment dollars and ROI. Cisco Capital financing gives you flexibility in acquiring hardware, software, services, and complementary third-party equipment.

And there's just one predictable payment. Cisco Capital is available in more than 100 countries. [Learn more](#).

#### For More Information

For more information about the Cisco 5520 Wireless Controller, visit <http://www.cisco.com/c/en/us/products/wireless/5520-wireless-controller/index.html>



Americas Headquarters  
Cisco Systems, Inc.  
San Jose, CA

Asia Pacific Headquarters  
Cisco Systems (USA) Pte. Ltd.  
Singapore

Europe Headquarters  
Cisco Systems International BV Amsterdam,  
The Netherlands

Cisco has more than 200 offices worldwide. Addresses, phone numbers, and fax numbers are listed on the Cisco Website at [www.cisco.com/go/offices](http://www.cisco.com/go/offices).

Cisco and the Cisco logo are trademarks or registered trademarks of Cisco and/or its affiliates in the U.S. and other countries. To view a list of Cisco trademarks, go to this URL: [www.cisco.com/go/trademarks](http://www.cisco.com/go/trademarks). Third party trademarks mentioned are the property of their respective owners. The use of the word partner does not imply a partnership relationship between Cisco and any other company. (1110R)

## Cisco Aironet 1560 Series Outdoor Access Points



Cisco Aironet® 1560 Series Outdoor Access Points offer the latest 802.11ac Wave 2 functions in a rugged, low-profile housing that service providers and enterprises can deploy easily.

Ideal for applications requiring rugged outdoor Wi-Fi coverage, the Cisco Aironet 1560 Series Access Points offer the latest IEEE 802.11ac Wave 2 radio standard in a compact, aesthetically pleasing, easy-to-deploy package. The 1560 Series offers flexible deployment options for service providers, enterprise networks, and public safety networks that need the fastest links possible for mobile, outdoor clients (smartphones, tablets, and laptops) and wireless backhaul. With options for internal or external antennas, the 1560 Series Access Points give network operators the flexibility to balance their desired wireless coverage with their need for easy deployment. The Cisco Aironet 1560 Series is built on the strong base of Cisco® wireless innovations such as:

- Cisco CleanAir® technology for spectrum intelligence
- Cisco ClientLink technology for beamforming
- Radio Resource Management (RRM) for dynamic transmitter channel and power control

Whether deployed as a traditional access point or wireless mesh access point, the Cisco Aironet 1560 Series provides the throughput capacity needed for today's bandwidth-hungry devices.

## Features and Benefits

Table 1 lists the features and benefits of the Cisco Aironet 1560 Series.

**Table 1.** Features and Benefits of Cisco Aironet 1560 Series

Feature	Benefit
<b>802.11ac Wave 2 radio</b>	Provides up to 1.3-Gbps data rates with 3 x 3 multiple input, multiple output (MIMO) and up to three spatial streams
<b>Multiuser MIMO (MU-MIMO)</b>	Allows transmission of data to multiple 802.11ac Wave 2-capable clients simultaneously to improve client experience; prior to 802.11ac Wave 2, access points could transmit data to only one client at a time, typically referred to as single-user MIMO
<b>Flexible deployment modes</b>	Allows for deployment of the 1560 in a variety of ways including point-to-point and mesh networks; it can also be deployed with the Cisco Mobility Express Solution, which is ideal for small to medium-sized deployments that require 25 or fewer access points without a physical controller; all deployment modes are easy to set up and configure
<b>Small Form-Factor Pluggable (SFP) port</b>	Supports optical fiber-based network connectivity for remote locations

## Prominent Feature/Differentiator/Capability

The Cisco Aironet 1560 Series offers the following features:

- Improved performance for multiple client devices: The 802.11ac Wave 2 access points use MU-MIMO technology, which allows different data streams to all flow at once from the access point to multiple 802.11ac Wave 2-supported devices. Now, multiple 802.11ac Wave 2 devices can connect at the same time, getting the information they need quicker.
- 5-GHz support: The Cisco Aironet 1560 Series doubles the scale of 5-GHz mobile devices and raises the performance of high-density environments.
- Cisco Flexible Antenna Port technology uses software configurable for either single- or dual-band antennas. It allows you to use the same antenna ports for either dual-band antennas to reduce footprint or single-band antennas to optimize radio coverage.
- Cisco Mobility Express: This solution is designed to bring enterprise-class wireless access to small and medium-sized networks. Easy to set up with low maintenance, Mobility Express includes advanced features from Cisco and does not require a physical controller appliance.
- Cisco High Density Experience (HDX): Cisco HDX comes standard on the 1560, giving this access point top-of-the-line network efficiency over a large number of wireless clients. HDX uses customized chipsets to target the needs of high-density networks. It is built with best-in-class RF architecture and gives a better user experience for high-performance applications.

## Product Specifications

Table 2 lists the specifications of the 1560 access point.

**Table 2.** Specifications of Cisco Aironet 1560 Series

Item	Specification
------	---------------

**802.11ac Wave 1 and 2**

**capabilities**

- 1562I: 3 x 3 MIMO with three spatial streams
- 1562E/D 2 x 2 MIMO with two spatial streams
- Multi- and single-user MIMO
- Maximal ratio combining (MRC)
- 802.11ac beamforming (transmit beamforming)
- 20-, 40-, and 80-MHz channels
- PHY data rates up to 1.3 Gbps (80 MHz in 5 GHz)
- Packet aggregation: A-MPDU (Tx/Rx) and A-MSDU (Tx/Rx)
- 802.11 dynamic frequency selection (DFS)
- Cyclic-shift-diversity (CSD) support

**802.11n (and related) capabilities**

- 1562I: 3 x 3 MIMO with three spatial streams
- 1562E/D/PS: 2 x 2 MIMO with two spatial streams
- MRC
- 20- and 40-MHz channels
- PHY data rates up to 450 Mbps
- Packet aggregation: A-MPDU (Tx/Rx) and A-MSDU (Tx/Rx)
- 802.11 DFS
- CSD support

**Data rates supported**

802.11a: 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, and 54 Mbps  
 802.11b/g: 1, 2, 5.5, 6, 9, 11, 12, 18, 24, 36, 48, and 54 Mbps  
 802.11n data rates on 2.4 and 5 GHz:

MCS Index	GI = 800 ns		GI = 400 ns	
	20-MHz Rates (Mbps)	40-MHz Rates (Mbps)	20-MHz Rates (Mbps)	40-MHz Rates (Mbps)
0	6.5	13.5	7.2	15
1	13	27	14.4	30
2	19.5	40.5	21.7	45
3	26	54	28.9	60
4	39	81	43.3	90
5	52	108	57.8	120
6	58.5	121.5	65	135
7	65	135	72.2	150
8	13	27	14.4	30
9	26	54	28.9	60
10	39	81	43.3	90
11	52	108	57.8	120
12	78	162	86.7	180
13	104	216	115.6	240
14	117	243	130	270
15	130	270	144.4	300
16	19.5	40.5	21.7	45
17	39	81	43.3	90
18	58.5	121.5	65	135

Item	Specification							
	19	78	162	86.7	180			
	20	117	243	130	270			
	21	156	324	173.3	360			
	22	175.5	364.5	195	405			
	23	195	405	216.7	450			
802.11ac Data Rates (5 GHz)								
	<b>Spatial Streams</b>	<b>MCS</b>	<b>GI = 800 ns</b>			<b>GI = 400 ns</b>		
			<b>20 MHz</b>	<b>40 MHz</b>	<b>80 MHz</b>	<b>20 MHz</b>	<b>40 MHz</b>	<b>80 MHz</b>
	1	0	6.5	13.5	29.3	7.2	15	32.5
	1	1	13	27	58.5	14.4	30	65
	1	2	19.5	40.5	87.8	21.7	45	97.5
	1	3	26	54	117	28.9	60	130
	1	4	39	81	175.5	43.3	90	195
	1	5	52	108	234	57.8	120	260
	1	6	58.5	121.5	263.3	65	135	292.5
	1	7	65	135	292.5	72.2	150	325
	1	8	78	162	351	86.7	180	390
	1	9	–	180	390	–	200	433.3
	2	0	13	27	58.5	14.4	30	65
	2	1	26	54	117	28.9	60	130
	2	2	39	81	175.5	43.3	90	195
	2	3	52	108	234	57.8	120	260
	2	4	78	162	351	86.7	180	390
	2	5	104	216	468	115.6	240	520
	2	6	117	243	526.5	130	270	585
	2	7	130	270	585	144.4	300	650
	2	8	156	324	702	173.3	360	780
	2	9	–	360	780	–	400	866.7
	3	0	19.5	40.5	87.8	21.7	45	97.5
	3	1	39	81	175.5	43.3	90	195
	3	2	58.5	121.5	263.3	65	135	292.5
	3	3	78	162	351	86.7	180	390
	3	4	117	243	526.5	130	270	585
	3	5	156	324	702	173.3	360	780
	3	6	175.5	364.5	–	195	405	–
	3	7	195	405	877.5	216.7	450	975
	3	8	234	486	1053	260	540	1170
	3	9	260	540	1170	288.9	600	1300

Item	Specification
<b>Frequency band and 20- MHz operating channels (regulatory domains)</b>	<p><b>A:</b>  2.412 to 2.462 GHz, 11 channels  5.280 to 5.320 GHz, 3 channels 5.500 to 5.580 GHz, 5 channels 5.660 to 5.700 GHz, 3 channels  5.745 to 5.825 GHz, 5 channels <b>B:</b>  2.412 to 2.462 GHz, 11 channels  5.180 to 5.240 GHz, 4 channels  5.260 to 5.320 GHz, 4 channels  5.500 to 5.720 GHz, 12 channels  5.745 to 5.825 GHz, 5 channels <b>C:</b>  2.412 to 2.472 GHz, 13 channels  5.745 to 5.825 GHz, 5 channels <b>D:</b>  2.412 to 2.462 GHz, 11 channels  5.745 to 5.865 GHz, 7 channels <b>E:</b>  2.412 to 2.472 GHz, 13 channels  5.500 to 5.580 GHz, 5 channels  5.660 to 5.700 GHz, 3 channels <b>F:</b>  2.412 to 2.472 GHz, 13 channels  5.745 to 5.805 GHz, 4 channels <b>G:</b>  2.412 to 2.472 GHz, 13 channels  5.745 to 5.825 GHz, 5 channels <b>-H:</b>  2.412 to 2.472 GHz, 13 channels  5.745 to 5.825 GHz, 5 channels  <b>-I:</b>  2.412 to 2.472 GHz, 13 channels <b>-K:</b>  2.412 to 2.462 GHz, 11 channels  5.280 to 5.320 GHz, 3 channels 5.500 to 5.620 GHz, 7 channels  5.745 to 5.805 GHz, 4 channels <b>-L:</b>  2.412 to 2.472 GHz, 13 channels  5.500 to 5.620 GHz, 7 channels  5.745 to 5.865 GHz, 7 channels <b>-M:</b>  2.412 to 2.472 GHz, 13 channels  5.500 to 5.580 GHz, 5 channels 5.660 to 5.700 GHz, 3 channels  5.745 to 5.805 GHz, 4 channels <b>-N:</b>  2.412 to 2.462 GHz, 11 channels 5.745 to 5.825 GHz, 5 channels <b>-Q:</b>  2.412 to 2.472 GHz, 13 channels  5.500 to 5.700 GHz, 11 channels <b>-R:</b>  2.412 to 2.472 GHz, 13 channels  5.260 to 5.320 GHz, 4 channels 5.660 to 5.700 GHz, 3 channels  5.745 to 5.825 GHz, 5 channels</p>

Item	Specification
	<p><b>-S:</b></p> <p>2.412 to 2.472 GHz, 13 channels            5.500 to 5.700 GHz, 11 channels            5.745 to 5.825 GHz, 5 channels</p> <p><b>-T:</b></p> <p>2.412 to 2.462 GHz, 11 channels            5.500 to 5.580 GHz, 5 channels            5.660 to 5.700 GHz, 3 channels</p> <p><b>-Z:</b></p> <p>2.412 to 2.462 GHz, 11 channels            5.500 to 5.580 GHz, 5 channels            5.660 to 5.700 GHz, 3 channels            5.745 to 5.825 GHz, 5 channels</p>

**Note:** Customers are responsible for verifying approval for use in their individual countries. To verify approval that corresponds to a particular country, please visit <http://www.cisco.com/go/aironet/compliance>.

Maximum number of nonoverlapping channels	2.4 GHz	5 GHz
	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 802.11b/g:               <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 20 MHz: 3 ●</li> </ul> </li> <li>802.11n:               <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 20 MHz: 3</li> <li>◦ 40 MHz: 1 (hardware capable)</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 802.11a:               <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 20 MHz: 27 ●</li> </ul> </li> <li>802.11n:               <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 20 MHz: 27</li> <li>◦ 40 MHz: 13 ●</li> </ul> </li> <li>802.11ac:               <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 20 MHz: 27</li> <li>◦ 40 MHz: 13</li> <li>◦ 80 MHz: 6</li> </ul> </li> </ul>

**Note:** This number varies by regulatory domain. Refer to the product documentation for specific details for each regulatory domain.

Receive Sensitivity					
	Spatial Streams	2.4 GHz Radio		5 GHz Radio	
		1562I	1562D/E	1562I	1562D/E
<b>802.11/11b</b>					
1 Mbps	1	-100	-98	NA	NA
11 Mbps	1	-88	-87	NA	NA
<b>802.11a/g</b>					
6 Mbps	1	-92	-90	-94	-93
24 Mbps	1	-86	-83	-89	-88
54 Mbps	1	-76	-74	-80	-79
<b>802.11n HT20</b>					
MCS0	1	-90	-89	-91	-90
MCS4	1	-84	-82	-88	-86
MCS7	1	-77	-75	-80	-78
MCS8	2	-89	-88	-90	-89
MCS12	2	-82	-80	-85	-83
MCS15	2	-75	-72	-78	-76
MCS16	3	-89		-90	
MCS20	3	-81		-84	
MCS23	3	-73		-76	

Item	Specification				
<b>802.11n HT40</b>					
MCS0	1	-88	-86	-90	-90
MCS4	1	-82	-80	-85	-83
MCS7	1	-75	-74	-78	-76
MCS8	2	-87	-86	-90	-90
MCS12	2	-80	-78	-82	-81
MCS15	2	-72	-70	-75	-73
MCS16	3	-87		-90	
MCS20	3	-78		-81	
MCS23	3	-71		-74	
<b>802.11ac VHT20</b>					
MCS0	1			-95	-94
MCS4	1			-88	-86
MCS7	1			-81	-79
MCS8	1			-77	-75
MCS0	2			-94	-93
MCS4	2			-86	-84
MCS7	2			-78	-76
MCS8	2			-74	-72
MCS0	3			-93	
MCS4	3			-85	
MCS7	3			-78	
MCS8	3			-72	
MCS9	3			-69	
<b>802.11ac VHT40</b>					
MCS0	1			-91	-90
MCS4	1			-85	-84
MCS7	1			-79	-77
MCS8	1			-75	-73
MCS9	1			-73	-71
MCS0	2			-91	-90
MCS4	2			-83	-82
MCS7	2			-76	-74
MCS8	2			-73	-70
MCS9	2			-71	-68
MCS0	3			-91	
MCS4	3			-82	
MCS7	3			-74	
MCS8	3			-69	

MCS9	3			-68	
------	---	--	--	-----	--

Item	Specification				
<b>802.11ac VHT80</b>					
MCS0	1			-88	-88
MCS4	1			-83	-81
MCS7	1			-75	-73
MCS8	1			-71	-69
MCS9	1			-69	-67
MCS0	2			-88	-88
MCS4	2			-80	-78
MCS7	2			-73	-71
MCS8	2			-69	-67
MCS9	2			-67	-65
MCS0	3			-88	
MCS4	3			-78	
MCS7	3			-71	
MCS8	3			-67	
MCS9	3			-65	
<b>Maximum conducted transmit power</b>	<b>1562I</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 2.4 GHz: 29 dBm with 3 antennas</li> <li>• 5 GHz: 29 dBm with 3 antennas</li> </ul>	<b>1562D</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 2.4 GHz: 27 dBm with 2 antennas</li> <li>• 5 GHz: 27 dBm with 2 antennas</li> </ul>	<b>1562E</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 2.4 GHz: 27 dBm with 2 antennas</li> <li>• 5 GHz: 27 dBm with 2 antennas</li> </ul>	<b>1562PS</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 2.4 GHz: 27 dBm with 2 antennas</li> <li>• 4.9 GHz: 27 dBm with 2 antennas</li> </ul>	
<b>Note:</b> The maximum power setting will vary by channel and according to individual country regulations. Refer to the product documentation for specific details.					
<b>Interfaces</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• WAN port 10/100/1000BASE-T Ethernet, autosensing (RJ-45), PoE in</li> <li>• SFP port (fiber or electrical)</li> <li>• Management console port (RJ-45)</li> <li>• Multicolor LED</li> <li>• DC power input</li> <li>• Reset button</li> </ul>				
<b>Uplink options</b>	Ethernet, SFP, and wireless mesh				
<b>Dimensions (L x W x D)</b>	1562I: 9.0 x 6.8 x 3.9 in. (22.9 x 17.1 x 9.8 cm) 1562D: 9.0 x 6.8 x 4.3 in. (22.9 x 17.1 x 10.9 cm) 1562E/PS: 9.0 x 6.8 x 3.9 in. (22.9 x 17.1 x 9.8 cm)				
<b>Weight</b>	1562I: 5.6 lb (2.5 kg) 1562D: 5.7 lb (2.6 kg) 1562E/PS: 5.6 lb (2.5 kg)				
<b>Environmental</b>	Operating temperature: <ul style="list-style-type: none"> <li>• -40 to 65°C (-40 to 149°F) ambient air with no solar loading</li> <li>• -40 to 55°C (-40 to 131°F) ambient air with solar loading</li> </ul> Storage temperature: -40 to 85°C (-40 to 185°F) Wind resistance: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Up to 100-mph sustained winds</li> <li>• Up to 165-mph wind gusts</li> </ul>				

**Environmental ratings**

- IEC 60529 IP67
- NEMA Type 4X
- Icing protection NEMA 250-2008
- Corrosion NEMA 250-2008 (600 hours)
- Solar radiation EN 60068-2-5 (1200 W/ m2)
- Vibration MIL-STD-810

Item	Specification				
<b>Antennas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Integrated dual-band semi-omnidirectional antenna radome, vertically polarized (1562I) 7 dBi (2.4 GHz), 4 dBi (5 GHz)</li> <li>• Integrated dual-band directional antenna radome, dual polarized (1562D) 9 dBi (2.4 GHz), 10 dBi (5 GHz) • <b>Dual Band</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ AIR-ANT2568VG-N 6 dBi (2.4 GHz), 8 dBi (5 GHz) Omni</li> <li>◦ AIR-ANT2547VG-N 4 dBi (2.4 GHz), 7 dBi (5 GHz) Omni</li> <li>◦ AIR-ANT2547V-N 4 dBi (2.4 GHz), 7 dBi (5 GHz) Omni</li> <li>◦ AIR-ANT2588P3M-N= 8 dBi (2.4 GHz), 8 dBi (5 GHz) Directional</li> <li>◦ AIR-ANT2513P4M-N= 13 dBi (2.4 GHz), 13 dBi (5 GHz) Directional</li> </ul> </li> <li>• <b>Single Band</b> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>2.4 GHz</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ AIR-ANT2450V-N= 5 dBi (2.4 GHz), Omni</li> <li>◦ AIR-ANT2450VG-N= 5 dBi (2.4 GHz), Omni, vertical polarized</li> <li>◦ AIR-ANT2450HG-N= 5 dBi (2.4 GHz), Omni, horizontal polarized</li> <li>◦ AIR-ANT2480V-N= 8 dBi (2.4 GHz), Omni</li> <li>◦ AIR-ANT2413P2M-N= 13 dBi (2.4 GHz), Directional, dual polarized</li> </ul> </li> <li><b>5 GHz</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ AIR-ANT5150VG-N= 5 dBi (5GHz), Omni, vertical polarized</li> <li>◦ AIR-ANT5150HG-N= 5 dBi (5GHz), Omni, horizontal polarized</li> <li>◦ AIR-ANT5180V-N= 8 dBi (5GHz), Omni</li> <li>◦ AIR-ANT5114P2M-N= 14 dBi (5GHz), Directional, dual polarized</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul> <p>For antenna details, please refer to the antenna webpage: <a href="http://www.cisco.com/go/antennas">http://www.cisco.com/go/antennas</a></p>				
<b>Powering options</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• AC (with AIR-PWRADPT-RGD1=, AC/DC outdoor power adapter)</li> <li>• 44–57 VDC input</li> <li>• Universal Power of Ethernet (UPoE), 802.3at • Cisco power injectors: <ul style="list-style-type: none"> <li>AIR-PWRINJ-60RGD1= (outdoor rated, 60W, with NEMA 5-15 AC plug)</li> <li>AIR-PWRINJ-60RGD2= (outdoor rated, 60W, unterminated AC cable) AIR-PWRINJ6= (indoor, 802.3at)</li> </ul> </li> </ul> <p><b>Note:</b> If 802.3at Power over Ethernet (PoE) is the source of power, the 1562I radios will shift from 3 x 3 to 2 x 2.</p>				
<b>Power consumption</b>	<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 30%;">1562I</td> <td>32 W (3x3:3, full power)</td> </tr> <tr> <td>1562D/E/PS</td> <td>25 W</td> </tr> </table>	1562I	32 W (3x3:3, full power)	1562D/E/PS	25 W
1562I	32 W (3x3:3, full power)				
1562D/E/PS	25 W				

<b>Compliance</b>	<p><b>Safety</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• UL60950, 2<sup>nd</sup> Edition</li> <li>• CAN/CSA-C22.2 No. 60950, 2<sup>nd</sup> Edition</li> <li>• IEC 60950, 2<sup>nd</sup> Edition</li> <li>• EN 60950, 2<sup>nd</sup> Edition</li> </ul> <p><b>Immunity</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• &lt;= 5 mJ f or 6kV/3kA @ 8/20 ms waveform</li> <li>• ANSI/IEEE C62.41</li> <li>• EN61000-4-5 Lev el 4 AC Surge Immunity</li> <li>• EN61000-4-4 Lev el 4 Electrical Fast Transient Burst Immunity</li> <li>• EN61000-4-3 Lev el 4 EMC Field Immunity</li> <li>• EN61000-4-2 Lev el 2 ESD Immunity</li> <li>• EN60950 Overvoltage Category IV</li> </ul> <p><b>Radio Approvals</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• FCC Part 15.247, 15.407</li> <li>• FCC Bulletin OET-65C</li> <li>• RSS-247</li> <li>• RSS-102</li> <li>• AS/NZS 4268.2003</li> <li>• ARIB-STD 66 (Japan)</li> <li>• ARIB-STD T71 (Japan)</li> <li>• EN 300 328</li> <li>• EN 301 893</li> </ul>
<b>Item</b>	<p><b>Specification</b></p> <p><b>EMI and Susceptibility</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• FCC part 15.107, 15.109</li> <li>• ICES-003</li> <li>• EN 301 489-1, -17</li> </ul> <p><b>Security</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Wireless bridging/mesh</li> <li>• X.509 digital certificates</li> <li>• MAC address authentication</li> <li>• Advanced Encryption Standard (AES)</li> </ul> <p><b>Wireless Access</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 802.11i, Wi-Fi Protected Access 2 (WPA2), and WPA</li> <li>• 802.1X authentication, including Extensible Authentication Protocol (EAP) and Protected EAP (EAP -PEAP), EAP Transport Layer Security (EAP-TLS), EAP-Tunneled TLS (EAP-TTLS), EAP-Subscriber Identity Module - (EAP-SIM), and Cisco LEAP</li> <li>• VPN pass-through</li> <li>• IP Security (IPsec)</li> <li>• Layer 2 Tunneling Protocol (L2TP)</li> <li>• MAC address filtering</li> </ul>
<b>Warranty</b>	1-y ear limited hardware warranty

## Ordering Information

Table 3 gives ordering information for the Cisco Aironet 1560 Series.

**Table 3.** Ordering Information for Cisco Aironet 1560 Series

Part Number	Product Description
<b>Aironet 1560 Series</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• AIR-AP1562I-x-K9: Dual-band 802.11a/g/n/ac, Wave 2, internal semi-omni antennas</li> <li>• AIR-AP1562E-x-K9: Dual-band 802.11a/g/n/ac, Wave 2, external antennas</li> <li>• AIR-AP1562D-x-K9: Dual-band 802.11a/g/n/ac, Wave 2, internal directional antennas</li> <li>• AIR-AP1562PS-x-K9: Dual-band 802.11a/g/n 4.9 GHz Public Safety band support</li> </ul> <p>Regulatory domains: (x = regulatory domain)</p> <p>Customers are responsible for verifying approval for use in their individual countries. To verify approval that corresponds to a particular country or the regulatory domain used in a specific country, visit <a href="http://www.cisco.com/go/aironet/compliance">http://www.cisco.com/go/aironet/compliance</a>.</p> <p>Not all regulatory domains have been approved. As they are approved, the part numbers will be available on the Global Price List.</p> <p><b>Cisco SMARTnet™ Service for the Cisco Aironet 1560 Series Access Points</b></p> <p>Refer to the Service part numbers available on Cisco Commerce Workspace for available service offerings.</p>

## Warranty Information

The Cisco Aironet 1560 Series Outdoor Access Points come with a 1 -year limited warranty that provides full warranty coverage of the hardware. The warranty includes 10 –day advance hardware replacement and helps ensure that software media are defect-free for 90 days. For more details, visit <http://www.cisco.com/go/warranty>.

## Cisco and Partner Services

Realize the full business value of your technology investments faster with intelligent, customized services from

Cisco and our partners. Backed by deep networking expertise and a broad ecosystem of partners, Cisco Wireless LAN Services help you deploy a sound, scalable mobility network that enables rich -media collaboration while improving the operational efficiency gained from a converged wired and wireless network infrastructure based on the Cisco Unified Wireless Network.

Together with partners, we offer expert plan, build, and run services to accelerate your transition to advanced mobility services while continuously optimizing the performance, reliability, and security of that architecture after it is deployed. For more details, please visit: <http://www.cisco.com/go/wirelesslanservices>.

Cisco Wireless LAN Services include:

- AS-WLAN-CNSLT: [Cisco Wireless LAN Network Planning and Design Service](#)
- AS-WLAN-CNSLT: [Cisco Wireless LAN 802.11n Migration Service](#)
- AS-WLAN-CNSLT: [Cisco Wireless LAN Performance and Security Assessment Service](#)

## Cisco Capital

Financing to Help You Achieve Your Objectives

Cisco Capital® can help you acquire the technology you need to achieve your objectives and stay competitive. We can help you reduce capital expenditures (CapEx). Accelerate your growth. Optimize your investment dollars and ROI. Cisco Capital financing gives you flexibility in acquiring hardware, software, services, and complementary third-party equipment. And there's just one predictable payment. Cisco Capital is available in more than 100 countries. [Learn more.](#)

## For More Information

For more information about the Cisco Aironet 1560 Series, visit <http://www.cisco.com/go/wireless> or contact your local Cisco account representative.



Americas Headquarters  
Cisco Systems, Inc.  
San Jose, CA

Asia Pacific Headquarters  
Cisco Systems (USA) Pte. Ltd.  
Singapore

Europe Headquarters  
Cisco Systems International BV Amsterdam,  
The Netherlands

Cisco has more than 200 offices worldwide. Addresses, phone numbers, and fax numbers are listed on the Cisco Website at [www.cisco.com/go/offices](http://www.cisco.com/go/offices).

 Cisco and the Cisco logo are trademarks or registered trademarks of Cisco and/or its affiliates in the U.S. and other countries. To view a list of Cisco trademarks, go to this URL: [www.cisco.com/go/trademarks](http://www.cisco.com/go/trademarks). Third party trademarks mentioned are the property of their respective owners. The use of the word partner does not imply a partnership relationship between Cisco and any other company. (1110R)



# Cisco Aironet Dual-Band Omni-Directional Antenna (AIR-ANT2568VG-N)

**First Published: July 2015**

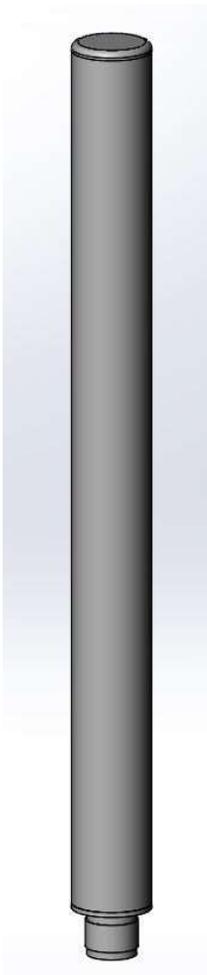
**Last Updated: November 15, 2018**

This describes the Cisco Aironet AIR-ANT2568VG-N dual-band omni-directional antenna, and provides specifications and mounting instructions. The antenna is designed for outdoor use with Cisco Aironet Outdoor Access Points with radios operating in the 2.4 GHz and 5 GHz frequency bands.

These topics are discussed:

- [Technical Specifications, page 2](#)
- [System Requirements, page 4](#)
- [Safety Precautions, page 4](#)
- [Installation Notes, page 4](#)
- [Obtain Documentation and Submit a Service Request, page 5](#)

## Technical Specifications

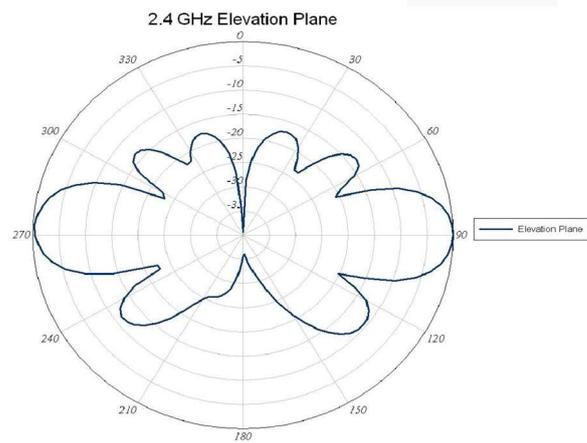
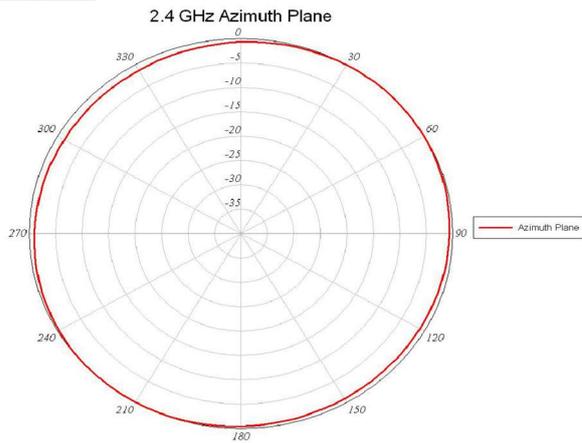
Antenna Type	Omni-directional	
Operating Frequency Range	2400–2483 MHz; 5150–5925 MHz	
VSWR	1.5:1 (2400–2483 MHz) 2:1 (5150–5925 MHz)	
Nominal Input Impedance	50 Ohms	
Gain	6 dBi (2400–2483 MHz) 8 dBi (5150–5925 MHz)	
Polarization	Vertical	
Azimuth Plane Ripple	2 dB (Max)	
Elevation Plane 3 dB Beamwidth	24° (2400–2483 MHz) 11° (5150–5925 MHz)	
Azimuth Plane 3 dB Beamwidth	Omni-directional	
Length	14.8 in (377 mm)	
Diameter	1.25 in (31.75 mm)	
Weight	7.2 oz. (204.1 g)	
Connector	N-Male	
Operational Temperature	-22–158°F (-30–70°C)	
Storage Temperature	-40–185°F (-40–85°C)	
Water/Foreign Body Ingress	IP67	
Wind Rating (Operational)	100 mph (161 kph)	
Wind Rating (Survival)	136 mph (218 kph)	

Cisco Aironet Dual-Band Omni-Directional Antenna (AIR-ANT2568VG-N)

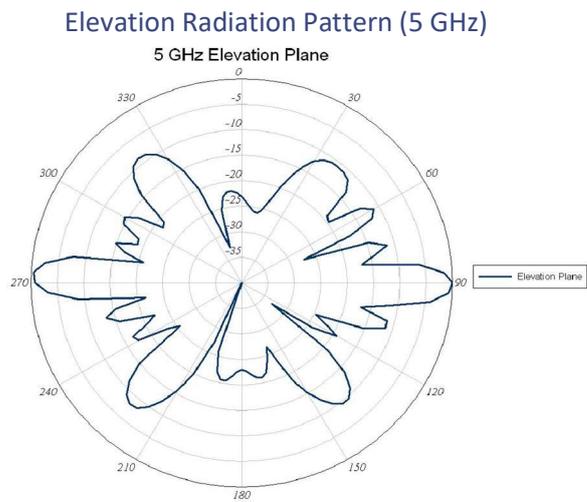
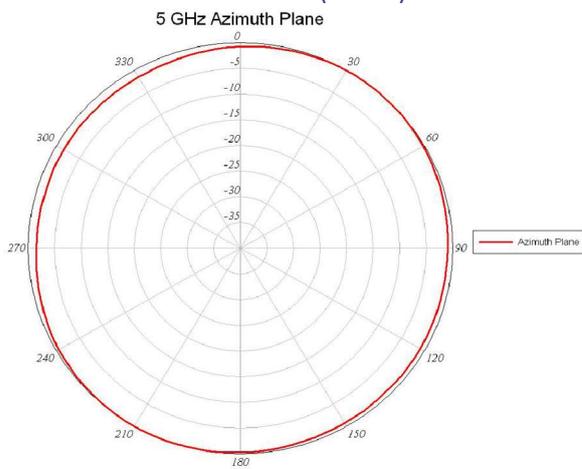
### Technical Specifications

Azimuth Radiation Pattern (2.4 GHz)

Elevation Radiation Pattern (2.4 GHz)



Azimuth Radiation Pattern (5 GHz)



## System Requirements

## System Requirements

This antenna is designed for use with the Cisco Aironet Outdoor Access Points.

## Safety Precautions

**Warning:** Do not locate the antenna near overhead power lines or other electric light or power circuits, or where it can come into contact with such circuits. When installing the antenna, take extreme care not to come into contact with such circuits, as they may cause serious injury or death. For proper installation and grounding of the antenna, please refer to national and local codes (e.g. U.S.: NFPA 70, National Electrical Code, Article 810, Canada: Canadian Electrical Code, Section 54). Statement 280

For your safety, read and follow these safety precautions.

1. Before you install an antenna, contact your Cisco account representative to explain which mounting method to use for the size and type of antenna that you are about to install.
2. Find someone to help you—installing an antenna is often a two-person job.

3. Select your installation site with safety, as well as performance, in mind. Remember that electric power lines and phone lines look alike. For your safety, assume that any overhead line can kill you.
4. Contact your electric power company. Tell them your plans and ask them to come look at your proposed installation.
5. Plan your installation carefully and completely before you begin. Each person involved in an installation should be assigned to a specific task and should know what to do and when to do it. One person should be in charge of the operation to issue instructions and watch for signs of trouble.
6. When installing your antenna, follow these guidelines:
  - a. **Do not** use a metal ladder.
  - b. **Do not** work on a wet or windy day.
  - c. Dress properly: wear shoes with rubber soles and heels, rubber gloves, and a long-sleeved shirt or jacket.
7. If the assembly starts to drop, move away from it and let it fall. Because the antenna, mast, cable, and metal guy wires are all excellent conductors of electrical current, even the slightest touch of any of these parts to a power line completes an electrical path through the antenna and the installer.
8. If any part of the antenna system should come in contact with a power line, do not touch it or try to remove it yourself. Call your local power company to have it removed safely.
9. If an accident should occur with the power lines, call for qualified emergency help immediately.

## Installation Notes

The antenna is designed to connect to a dedicated antenna port on the access point. No special tools are required to install the antenna.

The antenna is resistant to the full range of outdoor environments. After the antenna is attached to the access point, seal the connections to prevent moisture and other weathering elements from affecting performance. Cisco recommends using a coax seal (such as CoaxSeal) for outdoor connections. Silicone sealant or electrical tape are not recommended for sealing outdoor connections.

Cisco Aironet Dual-Band Omni-Directional Antenna (AIR-ANT2568VG-N)

---

Installation Notes

## Choosing a Mounting Location

The antenna is designed to create an omni-directional broadcast pattern. To achieve this pattern, the access point should be mounted clear of any obstructions to the sides of the radiating element. If the mounting location is on the side of a building or tower, the antenna pattern is degraded on the building or tower side.

Generally, the higher an antenna is above the ground, the better it performs. A practice is to install your antenna about 5 to 10 ft (1.5 to 3 m) above the roof line and away from all power lines and obstructions.

## Tools and Equipment Required

No tools are required to mount the antenna to the access point. However, you may need a  $\frac{3}{4}$  in. (19 mm) open end or combination wrench (or adjustable wrench) to remove the antenna port covers.

For information about tools required to mount the access point, see the appropriate access point documentation.

## Mounting the Antenna

To connect the antenna to the access point:

1. If necessary, remove the antenna port cover.
2. Align the antenna N connector with the appropriate antenna port.
3. Gently push the antenna into the port.
4. Tighten the antenna hand tight.

## Obtain Documentation and Submit a Service Request

For information on obtaining documentation, using the Cisco Bug Search Tool (BST), submitting a service request, and gathering additional information, see [What's New in Cisco Product Documentation](#).

To receive new and revised Cisco technical content directly to your desktop, you can subscribe to the [What's New in Cisco Product Documentation RSS feed](#). The RSS feeds are a free service.

THE SPECIFICATIONS AND INFORMATION REGARDING THE PRODUCTS IN THIS MANUAL ARE SUBJECT TO CHANGE WITHOUT NOTICE. ALL STATEMENTS, INFORMATION, AND RECOMMENDATIONS IN THIS MANUAL ARE BELIEVED TO BE ACCURATE BUT ARE PRESENTED WITHOUT WARRANTY OF ANY KIND, EXPRESS OR IMPLIED. USERS MUST TAKE FULL RESPONSIBILITY FOR THEIR APPLICATION OF ANY PRODUCTS.

THE SOFTWARE LICENSE AND LIMITED WARRANTY FOR THE ACCOMPANYING PRODUCT ARE INCORPORATED HEREIN BY THIS REFERENCE. IF YOU ARE UNABLE TO LOCATE THE SOFTWARE LICENSE OR LIMITED WARRANTY, CONTACT YOUR CISCO REPRESENTATIVE FOR A COPY.

The following information is for FCC compliance of Class A devices: This equipment has been tested and found to comply with the limits for a Class A digital device, pursuant to part 15 of the FCC rules. These limits are designed to provide reasonable protection against harmful interference when the equipment is operated in a commercial environment. This equipment generates, uses, and can radiate radio-frequency energy and, if not installed and used in accordance with the instruction manual, may cause harmful interference to radio communications. Operation of this equipment in a residential area is likely to cause harmful interference, in which case users will be required to correct the interference at their own expense.

The following information is for FCC compliance of Class B devices: This equipment has been tested and found to comply with the limits for a Class B digital device, pursuant to part 15 of the FCC rules. These limits are designed to provide reasonable protection against harmful interference in a residential installation. This equipment generates, uses and can radiate radio frequency energy and, if not installed and used in accordance with the instructions, may cause harmful [Installation Notes](#)

interference to radio communications. However, there is no guarantee that interference will not occur in a particular installation. If the equipment causes interference to radio or television reception, which can be determined by turning the equipment off and on, users are encouraged to try to correct the interference by using one or more of the following measures:

- Reorient or relocate the receiving antenna.
- Increase the separation between the equipment and receiver.
- Connect the equipment into an outlet on a circuit different from that to which the receiver is connected.
- Consult the dealer or an experienced radio/TV technician for help.

Modifications to this product not authorized by Cisco could void the FCC approval and negate your authority to operate the product.

The Cisco implementation of TCP header compression is an adaptation of a program developed by the University of California, Berkeley (UCB) as part of UCB's public domain version of the UNIX operating system. All rights reserved. Copyright © 1981, Regents of the University of California.

NOTWITHSTANDING ANY OTHER WARRANTY HEREIN, ALL DOCUMENT FILES AND SOFTWARE OF THESE SUPPLIERS ARE PROVIDED "AS IS" WITH ALL FAULTS. CISCO AND THE ABOVE-NAMED SUPPLIERS DISCLAIM ALL WARRANTIES, EXPRESSED OR IMPLIED, INCLUDING, WITHOUT LIMITATION, THOSE OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE AND NONINFRINGEMENT OR ARISING FROM A COURSE OF DEALING, USAGE, OR TRADE PRACTICE.

IN NO EVENT SHALL CISCO OR ITS SUPPLIERS BE LIABLE FOR ANY INDIRECT, SPECIAL, CONSEQUENTIAL, OR INCIDENTAL DAMAGES, INCLUDING, WITHOUT LIMITATION, LOST PROFITS OR LOSS OR DAMAGE TO DATA ARISING OUT OF THE USE OR INABILITY TO USE THIS MANUAL, EVEN

IF CISCO OR ITS SUPPLIERS HAVE BEEN ADVISED OF THE POSSIBILITY OF SUCH DAMAGES.

Any Internet Protocol (IP) addresses and phone numbers used in this document are not intended to be actual addresses and phone numbers. Any examples, command display output, network topology diagrams, and other figures included in the document are shown for illustrative purposes only. Any use of actual IP addresses or phone numbers in illustrative content is unintentional and coincidental.

All printed copies and duplicate soft copies of this document are considered uncontrolled. See the current online version for the latest version.

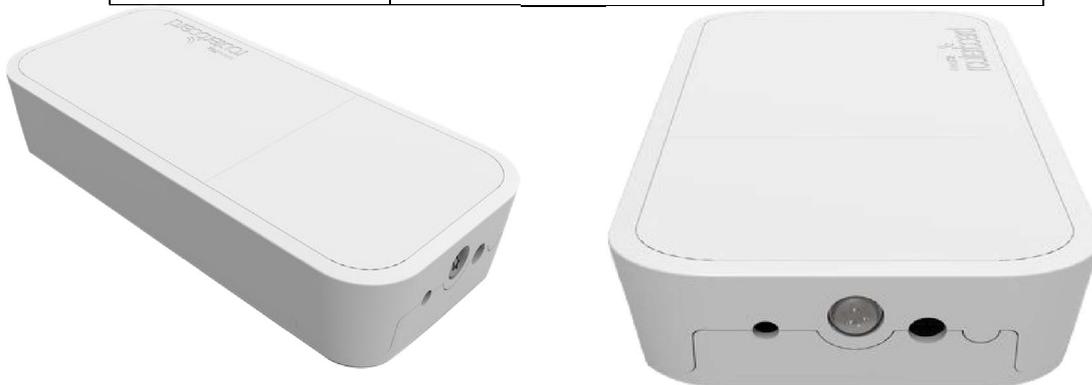
Cisco has more than 200 offices worldwide. Addresses, phone numbers, and fax numbers are listed on the Cisco website at [www.cisco.com/go/offices](http://www.cisco.com/go/offices).

© 2013-2015 Cisco Systems, Inc. All rights reserved.

# Mikrotik RBFTC11

The FTC is a Fiber to Copper converter. Unlike many other media converters available on market, FTC has an outdoor waterproof case with lock screw. The device supports 12-57V PoE with 802.3af/at support (with unshielded cross cable). Comes with PoE injector and power supply. The case has a mounting system that is secured by a screw from inside the lockable case, making the device hard to access by unauthorised people.

Power	12-57 V Passive or 802.3af PoE
Operating temperature	-40 to +70 °C
Ethernet	One 10/100/1000Mbit ethernet connector with PoE input support
Dimensions	185x85x30 mm
SPF	One 1.25Gbit port (SFP module not included)



## Anexo B - Características del cableado y canalizaciones

### - Tubo de canalización de cableado

Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
1		<b>Materiales</b>			
mt35aia130i	m	Tubo rígido de policarbonato, exento de halógenos según UNE-EN 50267-2-2, enchufable, curvable en caliente, de color gris, de 20 mm de diámetro nominal, para instalaciones eléctricas en edificios públicos y para evitar emisiones de humo y gases ácidos. Resistencia a la compresión 1250 N, resistencia al impacto 6 julios, temperatura de trabajo -5°C hasta 90°C, con grado de protección IP547 según UNE 20324, propiedades eléctricas: aislante, no propagador de la llama. Según UNE-EN 61386-1 y UNE-EN 61386-22. Incluso abrazaderas, elementos de sujeción y accesorios (curvas, manguitos, tes, codos y curvas flexibles).	1,000	3,12	3,12

### - Cable de fibra óptica monomodo

Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
1		<b>Materiales</b>			
mt40foc030a	m	Cable dieléctrico para exteriores, de 8 fibras ópticas monomodo en tubos activos holgados de polibutileno tereftalato (PBT) y tubos pasivos cableados recubiertos con material bloqueante del agua, elemento central de refuerzo, cubierta interior de polietileno, cabos de fibra de vidrio como elemento de protección antirroedores y de refuerzo a la tracción y cubierta exterior de polietileno de 13,6 mm de diámetro. Según EN 60794.	1	0,63	0,63
<b>Subtotal materiales:</b>					<b>0,63</b>