

REDES

(TA048) CORSO VOLPI - 1C 2025

# Trabajo Práctico WiFi 6

<b>Alumno</b>	<b>Padrón</b>
Camila Gonzalez	105661
Santino Peiretti	109320
Alexia Aroa	110014
Manuel Pueyrredon	111014

# Índice

<b>1. ¿Qué es el WiFi?</b>	<b>4</b>
1.1. Historia . . . . .	4
1.2. Comparación con otras tecnologías: el caso de WiMAX . . . . .	4
1.2.1. Casos de uso . . . . .	5
1.2.2. Rol en el ecosistema actual . . . . .	5
<b>2. ¿Qué es Wi-Fi 6?</b>	<b>5</b>
2.1. Ventajas clave . . . . .	6
<b>3. Tecnologías vinculadas a Wi-Fi 6</b>	<b>6</b>
3.1. MU-MIMO (Multi-User Multiple Input Multiple Output) . . . . .	7
3.1.1. Funcionamiento de MU-MIMO . . . . .	7
3.1.2. Comparación con Wi-Fi 5 . . . . .	7
3.1.3. Consideraciones importantes . . . . .	8
3.2. OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) . . . . .	8
3.2.1. Funcionamiento de OFDMA . . . . .	8
3.2.2. OFDMA en enlace descendente y ascendente . . . . .	9
3.2.3. Comparación con Wi-Fi 5 . . . . .	9
3.3. Target Wake Time (TWT) . . . . .	10
3.3.1. Funcionamiento de TWT . . . . .	10
3.3.2. ¿Cómo ayuda TWT a ahorrar energía? . . . . .	11
3.4. 1024-QAM (Quadrature Amplitude Modulation) . . . . .	11
3.4.1. Diagrama de constelación . . . . .	11
3.4.2. Comparación con Wi-Fi 5 . . . . .	12
3.4.3. Beneficios . . . . .	12
3.5. Mayor ancho de canal (80/160 MHz) . . . . .	12
<b>4. Wifi 6, 6E y 7</b>	<b>12</b>
4.1. Wifi 6E . . . . .	12
4.2. Wi-Fi 7 (IEEE 802.11be) . . . . .	12
4.3. Principales características técnicas . . . . .	13
<b>5. Compatibilidad y estándares</b>	<b>13</b>
5.1. Retrocompatibilidad . . . . .	13
5.2. Estándares TIA - Telecommunications Industry Association . . . . .	14
<b>6. Caso de Uso: Blackpool Pleasure Beach</b>	<b>14</b>
6.1. Solución Implementada y tecnologías . . . . .	14
6.1.1. Puntos de acceso . . . . .	14
6.1.2. Switches ICX® . . . . .	15
6.1.3. BeamFlex+® . . . . .	15

---

6.1.4. ChannelFly™ . . . . .	15
6.1.5. SmartZone™ . . . . .	15
6.1.6. RUCKUS Analytics™ . . . . .	15
6.2. Conclusion del caso: . . . . .	15
<b>7. Bibliografía</b>	<b>16</b>

## 1. ¿Qué es el WiFi?

Wi-Fi es una tecnología de comunicación inalámbrica que permite conectar dispositivos como computadoras, teléfonos, tablets o televisores a una red local y a Internet sin necesidad de cables, utilizando ondas de radio.

Fue introducida a fines del siglo XX por el consorcio WECA, que desde 2002 se conoce como Wi-Fi Alliance, una organización encargada de certificar que los dispositivos cumplan con estándares de interoperabilidad. Esta certificación garantiza que equipos de diferentes fabricantes puedan conectarse y funcionar correctamente entre sí.

Wi-Fi opera principalmente en las bandas de frecuencia de 2.4 GHz y 5 GHz, y más recientemente en la banda de 6 GHz con la llegada de Wi-Fi 6E. Estas bandas permiten distintas velocidades y alcances de conexión según el entorno y la demanda.

El nombre “Wi-Fi” proviene de la expresión “Wireless Fidelity” (fidelidad inalámbrica), utilizada originalmente en su eslogan promocional: The Standard for Wireless Fidelity.

A nivel técnico, las redes Wi-Fi funcionan mediante protocolos de la familia IEEE 802.11, que regulan la comunicación bidireccional entre el router (o punto de acceso) y los dispositivos conectados. Las ondas de radio transmiten los datos a diferentes frecuencias, brindando conexiones confiables y eficientes, adaptadas a distintas necesidades de uso.

### 1.1. Historia

Cada nueva generación mejora en velocidad, eficiencia y capacidad para manejar muchos dispositivos al mismo tiempo.

Wi-Fi	Año	Vel. Máxima	Frecuencia	Ventajas	Desventajas
Wi-Fi 1	1999	11 Mbps	2.4 GHz	Primera versión masiva.	Lento Poco alcance
Wi-Fi 2	1999	54 Mbps	5 GHz	Más rápido	Costoso Poco alcance
Wi-Fi 3	2003	54 Mbps	2.4 GHz	Compatibilidad con 802.11b.	Necesidad de más dispositivos conectados Poco alcance en hogares grandes
Wi-Fi 4	2009	600 Mbps	2.4 / 5 GHz	Introduce MIMO	Necesidad de más velocidad Necesidad de más capacidad
Wi-Fi 5	2014	3.5 Gbps	5 GHz	MU-MIMO Mayor velocidad	Congestión Aumento exponencial de dispositivos
Wi-Fi 6	2019	9.6 Gbps	2.4 / 5 GHz	OFDMA, ideal para alta densidad Más rápido	—

Cuadro 1: Evolución de las versiones de Wi-Fi con ventajas y desventajas

### 1.2. Comparación con otras tecnologías: el caso de WiMAX

WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) es una tecnología de comunicación inalámbrica estandarizada por el IEEE 802.16, orientada a proporcionar acceso a Internet de banda ancha en áreas extensas, incluso a nivel metropolitano. Fue concebida como una alternativa a tecnologías de última milla como DSL o cable, y se posicionó como una solución viable para zonas rurales o con infraestructura limitada. En contraste, Wi-Fi, basado en los estándares IEEE 802.11,

está diseñado para cubrir áreas más pequeñas como hogares, oficinas o campus, permitiendo la interconexión inalámbrica de dispositivos dentro de una red local (LAN).

Característica	Wi-Fi (IEEE 802.11)	WiMAX (IEEE 802.16)
Objetivo principal	Conectividad local inalámbrica (LAN)	Acceso inalámbrico de banda ancha a larga distancia (MAN)
Rango de cobertura	Corto (hasta 100 metros en interiores)	Amplio (hasta 50 km en condiciones ideales)
Frecuencia de operación	2.4 GHz / 5 GHz / 6 GHz (Wi-Fi 6E)	2.3 GHz, 2.5 GHz, 3.5 GHz, 5.8 GHz
Ancho de canal	20 / 40 / 80 / 160 MHz	1.25 – 20 MHz
Velocidad máxima teórica	Hasta 9.6 Gbps (Wi-Fi 6)	Hasta 1 Gbps (WiMAX 2)
Tecnología de acceso	CSMA/CA (Acceso aleatorio con evasión de colisiones)	OFDMA (Acceso múltiple por división de frecuencia ortogonal)
Topología de red	Estrella (con routers o puntos de acceso)	Punto-multipunto, basada en estaciones base
Movilidad	Limitada o nula	Soporta movilidad en versiones avanzadas
Escalabilidad	Media (dependiendo del entorno)	Alta (pensado para redes metropolitanas)
Aplicación típica	Hogares, oficinas, aulas	Zonas rurales, ciudades sin infraestructura cableada
Estado actual	Estándar dominante en conectividad local	Obsoleto o en desuso, reemplazado por LTE/5G

Cuadro 2: Comparación entre Wi-Fi y WiMAX

### 1.2.1. Casos de uso

Corea del Sur fue uno de los países pioneros en implementar WiMAX a gran escala. En 2006, KT lanzó "WiBro", una versión móvil de WiMAX, para ofrecer acceso a Internet de alta velocidad en movimiento. Aunque fue exitoso inicialmente, fue reemplazado gradualmente por redes LTE más eficientes. También en varios países de América Latina, WiMAX se usó para proyectos de conectividad rural o como solución de acceso inalámbrico fijo en empresas o edificios. Ejemplo: en Bolivia, la empresa Entel lo utilizó en zonas donde no había conectividad terrestre confiable.

### 1.2.2. Rol en el ecosistema actual

Aunque WiMAX ofrecía ventajas como mayor alcance y arquitectura escalable, su adopción fue limitada por diversos factores, entre ellos:

- Competencia con tecnologías móviles como LTE y posteriormente 5G.
- Costos de implementación superiores a los de Wi-Fi.
- Escaso respaldo por parte de fabricantes de dispositivos de consumo.

Hoy en día, WiMAX ha quedado relegado a aplicaciones muy específicas, mientras que Wi-Fi continúa evolucionando (con Wi-Fi 6 y 6E) como estándar dominante para redes inalámbricas de corto alcance.

## 2. ¿Qué es Wi-Fi 6?

Wi-Fi 6 es la nueva generación del estándar Wi-Fi, diseñada para ofrecer conexiones más rápidas, eficientes y adaptadas a la alta densidad de dispositivos conectados. Surge como respuesta

a la creciente demanda de ancho de banda y la necesidad de una red más robusta, especialmente en entornos con muchos usuarios, como oficinas, estadios, aulas electrónicas y espacios públicos. Entre sus mejoras más destacadas, Wi-Fi 6 incrementa la velocidad de transmisión, reduce la latencia y mejora la eficiencia energética. Permite velocidades de hasta 9,6 Gbps (frente a los 6,9 Gbps de Wi-Fi 5) gracias al uso de tecnologías como 1024-QAM y canales de hasta 160 MHz. Además, opera en las bandas de 2,4 GHz y 5 GHz, y es compatible con la nueva banda de 6 GHz, ampliando así su cobertura. Principales tecnologías de Wi-Fi 6:

- OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access).
- MU-MIMO (Multi-User, Multiple Input, Multiple Output).
- Target Wake Time (TWT).

De las cuales se ampliarán más adelante.

## 2.1. Ventajas clave

- Mayor velocidad: Wi-Fi 6 alcanza hasta un 40 % más velocidad que su antecesor.
- Más eficiencia: duplica el ancho de canal (de 80 MHz a 160 MHz) y permite enviar más información por unidad de tiempo.
- Mejor rendimiento en entornos saturados: ideal para situaciones con decenas o cientos de dispositivos conectados, como aulas o eventos multitudinarios.
- Baja latencia: crucial para aplicaciones sensibles como videojuegos en línea, videollamadas, streaming en 4K/8K y realidad virtual.
- Mayor cobertura: gracias a sus mejoras tecnológicas y el soporte multibanda, proporciona conexiones más estables incluso en áreas más alejadas del punto de acceso.

En resumen, Wi-Fi 6 no solo representa una mejora en velocidad, sino una transformación en la forma en que se gestiona la conectividad inalámbrica, garantizando un rendimiento superior en los entornos más exigentes.

## 3. Tecnologías vinculadas a Wi-Fi 6

WiFi 6 incorpora un conjunto de tecnologías avanzadas que permiten mejorar significativamente el rendimiento, la eficiencia y la gestión de redes inalámbricas en entornos con alta densidad de dispositivos.

Para optimizar la conectividad simultánea de múltiples dispositivos de forma estable y eficiente, WiFi 6 implementa tecnologías como MU-MIMO y OFDMA.

Además, introduce Target Wake Time (TWT), una funcionalidad que contribuye a reducir el consumo energético de los dispositivos conectados.

Por otro lado, la eficiencia espectral se ve incrementada gracias al uso de canales más amplios, de hasta 160 MHz, y una modulación de mayor densidad como 1024-QAM, lo que permite transmitir más datos en el mismo ancho de banda.

A continuación, se desarrollarán en detalle estas tecnologías y cómo cada una aporta a las mejoras que ofrece WiFi 6.

### 3.1. MU-MIMO (Multi-User Multiple Input Multiple Output)

MU-MIMO es una evolución de la tecnología MIMO (Multiple Input Multiple Output), ya presente en estándares anteriores como WiFi-4 y WiFi-5. MIMO permite a un punto de acceso transmitir múltiples flujos de datos simultáneamente.

Por ejemplo, si tenemos un router con cuatro flujos espaciales, y un dispositivo que también soporte cuatro flujos espaciales podrá intercambiar datos a la máxima velocidad posible, aprovechando al máximo el ancho de banda disponible.

Sin embargo, en MIMO tradicional (SU-MIMO, Single-User MIMO), esos flujos múltiples están destinados a un solo dispositivo a la vez. Por eso, si hay varios dispositivos conectados, estos deben esperar su turno para recibir datos, lo que reduce el rendimiento y genera cuellos de botella, especialmente cuando varios dispositivos están transmitiendo o recibiendo contenido multimedia de alta calidad, como video en HD.

Con MU-MIMO, el router ya no necesita esperar para atender a cada dispositivo de forma individual. En su lugar, distribuye los flujos de datos entre varios clientes al mismo tiempo.

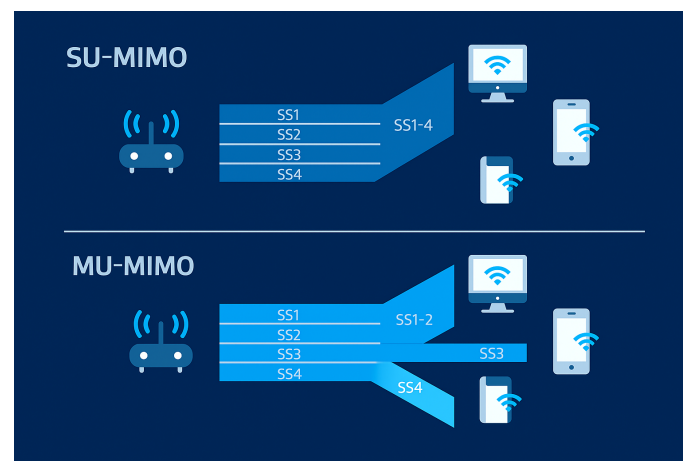


Figura 1: Distribución de los flujos de datos en SU-MIMO y MU-MIMO

#### 3.1.1. Funcionamiento de MU-MIMO

MU-MIMO utiliza las antenas que posee el router (o punto de acceso) y, mediante técnicas avanzadas de procesamiento de señal como beamforming, agrupa las antenas de forma lógica para formar flujos espaciales dirigidos hacia distintos dispositivos.

Beamforming es una técnica que permite concentrar la señal inalámbrica hacia ubicaciones específicas en lugar de emitirla en todas direcciones por igual. Esto mejora la calidad de la conexión y reduce las interferencias.

Cada cliente compatible recibe únicamente los flujos destinados a él, sin interferencias con los demás. Esta distribución de flujos se complementa con algoritmos de gestión que asignan dinámicamente los recursos de red, como el ancho de banda, la potencia de transmisión y los canales, en función de las capacidades y necesidades de los dispositivos conectados.

En conjunto, estas técnicas permiten que múltiples dispositivos se comuniquen de forma simultánea y eficiente, reduciendo los tiempos de espera y la congestión en la red.

#### 3.1.2. Comparación con Wi-Fi 5

En Wi-Fi 5, MU-MIMO solo funciona en el enlace descendente (downlink), es decir, el punto de acceso puede enviar datos a varios dispositivos a la vez, pero no puede recibir datos simultáneamente

de varios dispositivos. Además, está limitado a un máximo de 4 flujos espaciales simultáneos (es decir, hasta 4 dispositivos al mismo tiempo).

Wi-Fi 6 amplía significativamente esta capacidad, permitiendo que MU-MIMO funcione tanto en descarga como en subida (uplink), lo que significa que los dispositivos también pueden transmitir datos al punto de acceso de forma simultánea. Además, admite hasta 8 flujos espaciales, lo que permite mayor número de conexiones simultáneas con alto rendimiento.

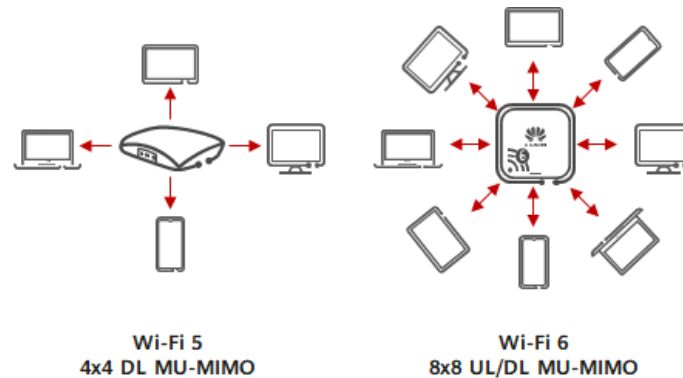


Figura 2: MU-MIMO en WiFi 5 y WiFi 6

### 3.1.3. Consideraciones importantes

Para beneficiarse de MU-MIMO, tanto el router como los dispositivos clientes deben ser compatibles con esta tecnología. Si bien muchos routers modernos la incluyen, no todos los dispositivos actuales (especialmente los más antiguos o económicos) pueden aprovecharla.

Otro aspecto clave es el número de antenas del router. Por ejemplo, si la mayoría de los dispositivos conectados tienen 2 antenas, lo ideal es que el router tenga al menos 4, de modo que pueda enviar datos a dos dispositivos simultáneamente usando 2 flujos para cada uno. Si el router tiene menos antenas o los dispositivos solo pueden manejar un flujo, los beneficios serán limitados.

Finalmente, MU-MIMO es especialmente útil cuando hay muchos dispositivos conectados al mismo tiempo, ya que ahí es donde la red tradicional empieza a saturarse. MU-MIMO mantiene la calidad de conexión en ese tipo de situaciones.

## 3.2. OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access)

OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) es una evolución del esquema de modulación OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), utilizado en estándares Wi-Fi anteriores. Ambos dividen un canal de ancho de banda en múltiples subportadoras, pero con una diferencia clave: mientras OFDM asigna todas las subportadoras a un único dispositivo por vez, OFDMA permite que múltiples dispositivos las utilicen simultáneamente, mejorando el rendimiento en redes con alta demanda.

### 3.2.1. Funcionamiento de OFDMA

En OFDMA, las subportadoras se agrupan en bloques llamados Resource Units (RUs), que son asignadas a diferentes dispositivos según sus necesidades. Por ejemplo: un sensor IoT, que transmite poca información, puede usar una RU pequeña de 26 subportadoras. Un dispositivo que transmite video en alta resolución puede requerir una RU grande, de 242 subportadoras o más.

Wi-Fi 6 admite una variedad de tamaños de RU: 26, 52, 106, 242, 484, 996 y 2×996 subportadoras (en canales de 160 MHz), lo que permite una asignación flexible y eficiente del espectro disponible.



Por otro lado, las subportadoras utilizadas en OFDMA tienen la propiedad de ortogonalidad, lo que significa que están diseñadas matemáticamente para no interferirse entre sí, incluso si están muy próximas en frecuencia. Esto se logra modulando cada subportadora de forma que su energía no afecte a las demás en el dominio de la frecuencia, permitiendo al receptor distinguirlas con precisión y recuperar los datos sin errores.

Gracias a esta propiedad, es posible realizar transmisiones paralelas sin degradar el rendimiento, lo que reduce la latencia, mejora la eficiencia espectral y optimiza el uso del canal inalámbrico. Además, permite una adaptación dinámica a las condiciones de la red y a los requerimientos de calidad de servicio (QoS).

### 3.2.2. OFDMA en enlace descendente y ascendente

Una de las mejoras clave de Wi-Fi 6 es que OFDMA se utiliza tanto en el enlace descendente (del punto de acceso a los dispositivos) como en el ascendente (de los dispositivos al punto de acceso). Esto permite que múltiples dispositivos transmitan o reciban datos simultáneamente, cada uno usando su propia unidad de recurso (RU), lo que reduce colisiones, mejora la eficiencia del canal y disminuye los tiempos de espera. Es especialmente útil para entornos con muchos dispositivos que generan tráfico pequeño y frecuente, como smartphones o dispositivos IoT.

### 3.2.3. Comparación con Wi-Fi 5

Wi-Fi 5 utiliza el esquema OFDM, en el cual todas las subportadoras del canal se asignan a un único usuario por unidad de tiempo. Esto significa que, aunque el canal tenga alta capacidad, solo un dispositivo puede transmitir o recibir datos a la vez, lo que genera ineficiencias especialmente en redes con múltiples usuarios activos.

Wi-Fi 6 introduce OFDMA, como se mencionó anteriormente, permite dividir el canal en múltiples unidades de recursos (Resource Units, RUs), las cuales se pueden asignar de forma simultánea a diferentes dispositivos. Algo muy importante es que permite una asignación dinámica de estas RUs en función del tipo de tráfico y las necesidades de cada dispositivo, lo que brinda mayor flexibilidad y mejor aprovechamiento del canal inalámbrico.

Una forma visual de comparar ambos esquemas es imaginar que los datos viajan en camiones:

- Wi-Fi 5 (OFDM): Cada camión puede entregar paquetes a un solo usuario por vez, aunque use varias subportadoras. Se desperdicia espacio si el camión no va lleno.
- Wi-Fi 6 (OFDMA): Cada camión puede llevar paquetes para múltiples usuarios, y repartirlos en una sola entrega, usando distintos compartimentos (RUs) para cada uno.

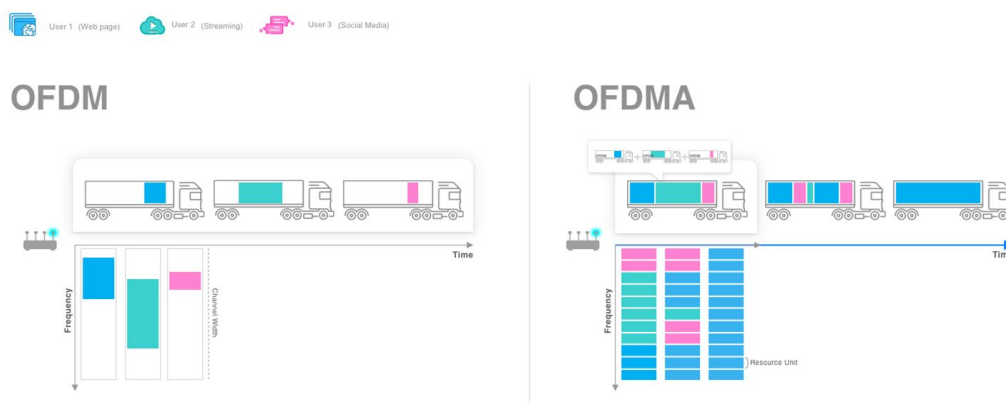


Figura 3: Analogía entre OFDM y OFDMA mediante camiones de carga

### 3.3. Target Wake Time (TWT)

Target Wake Time (TWT) es una de las principales innovaciones introducidas por Wi-Fi 6. Se trata de un mecanismo que permite que un punto de acceso (AP) y los dispositivos cliente (STA) negocien momentos específicos en los que los dispositivos deben despertar y comunicarse, permitiéndoles dormir el resto del tiempo para ahorrar batería. En redes Wi-Fi tradicionales (como 802.11ac y anteriores), los dispositivos deben escuchar constantemente el canal o activarse con frecuencia para verificar si tienen datos pendientes. Esto genera mayor consumo de energía, contención del medio (más dispositivos compitiendo por el canal) e ineficiencia en la transmisión (especialmente en redes densas o IoT).

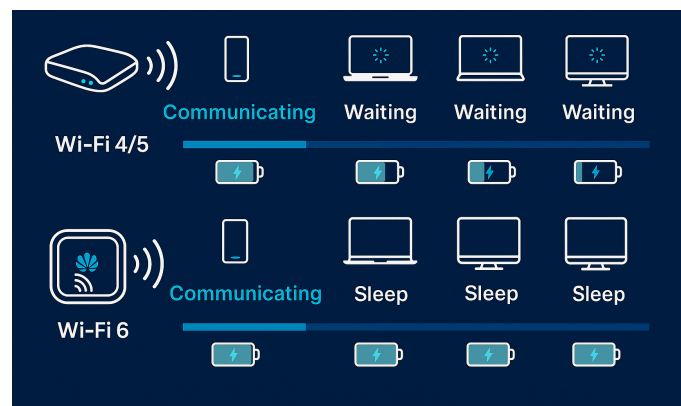


Figura 4: TWT en WiFi-6 y en estándares anteriores

#### 3.3.1. Funcionamiento de TWT

El proceso comienza con una negociación entre el STA y el AP. Esta puede ser solicitada por el cliente o iniciada por el AP (en modo broadcast). Para ello se utilizan frames de gestión, un tipo de trama definida por el estándar 802.11 que transporta información de control (no datos de usuario). En particular, Wi-Fi 6 usa los frames TWT Request y TWT Response, con los cuales se negocia:

- Cuándo despertarse (inicio del primer período activo).
- Intervalo de repetición (Wake Interval).
- Duración de la ventana activa.
- Tipo de TWT (individual o broadcast)
- El modo de operación (trigger-enabled, announced, etc.)

Una vez acordado el TWT, el AP mantiene una tabla interna con los horarios de activación de cada dispositivo y cada STA programa su reloj interno (timer) para despertarse justo antes del slot TWT acordado. Esto reduce la necesidad de estar escuchando el canal constantemente, ahorrando batería.

#### En el período fuera del TWT

Durante este tiempo, el dispositivo puede desactivar partes de su hardware de radio (como el transceptor Wi-Fi), entrando en modo de bajo consumo. También puede desactivar el chip de radiofrecuencia (RF) o el coprocesador Wi-Fi. Solo se mantiene activo un reloj de bajo consumo (low-power timer) el cual mantiene la cuenta regresiva para el próximo TWT.

Justo antes del próximo TWT, el dispositivo se reactiva automáticamente y se sincroniza con el AP para transmitir o recibir datos. Esta activación/desactivación se hace a nivel de hardware en combinación con software del firmware del chip Wi-Fi.

### En el período activo

Si el cliente tiene datos para enviar, puede usar UL OFDMA (uplink multiusuario) o solicitar canal. Si el AP tiene datos para el cliente, puede anunciarlo mediante TIM (Traffic Indication Map) o usar trigger frames si se está en modo trigger-enabled. Una vez que se completa la transmisión, el cliente vuelve a dormir.

### 3.3.2. ¿Cómo ayuda TWT a ahorrar energía?

TWT permite que los dispositivos permanezcan inactivos fuera de sus intervalos de transmisión programados, evitando la necesidad de escuchar el canal de forma continua. Al reducir el tiempo de actividad, se minimizan colisiones y retransmisiones, lo que mejora la eficiencia espectral. Esto lo hace especialmente adecuado para entornos IoT, donde muchos dispositivos, como sensores o cámaras, solo necesitan enviar datos esporádicamente. En consecuencia, pueden mantenerse en estado de bajo consumo durante períodos prolongados, incluso de horas, días o semanas.

## 3.4. 1024-QAM (Quadrature Amplitude Modulation)

La modulación QAM es una técnica que permite transmitir una gran cantidad de información digital utilizando ondas portadoras analógicas. Combina dos tipos de modulación: la de amplitud (variando la “altura” de la onda) y la de fase (ajustando el “ángulo” en el que inicia la onda).

Para componer estas ondas, utiliza dos señales portadoras ortogonales: una en fase (I, de In-phase) y otra en cuadratura (Q, de Quadrature). También se conoce como modulación IQ. Estas señales tienen la misma frecuencia, pero están desfasadas 90 grados (una es una onda seno, la otra una onda coseno). Esta diferencia de fase es fundamental, ya que al ser ortogonales pueden coexistir sin interferirse, lo que permite modularlas por separado y luego combinarlas en una sola señal que lleva más información.

### 3.4.1. Diagrama de constelación

A cada combinación específica de amplitud y fase de estas dos señales se las denomina símbolos. Estos símbolos pueden representarse gráficamente en un plano llamado diagrama de constelación, en el que cada símbolo aparece como un punto con coordenadas (I, Q). El número total de puntos en esa constelación determina cuántos bits se pueden transmitir por símbolo: a mayor cantidad de puntos, mayor densidad de información.

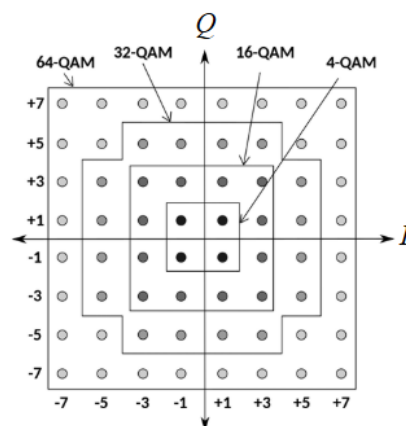


Figura 5: Diagrama de constelación para modulación de orden inferior

Por ejemplo, una constelación 4-QAM tiene solo 4 puntos posibles y transmite 2 bits por símbolo, mientras que 16-QAM transmite 4 bits, 64-QAM transmite 6, y así sucesivamente.

En base a la cantidad de puntos, se define el orden de modulación: mientras más alto el orden, más bits se transmiten por símbolo, pero también más sensible es la señal al ruido o interferencias. Por eso se habla de esquemas de modulación de orden superior (como 256-QAM o 1024-QAM) frente a otros de orden inferior (como 16-QAM), que son más robustos pero con menor capacidad.

### **3.4.2. Comparación con Wi-Fi 5**

Wi-Fi 6 adopta el uso 1024-QAM, lo que permite transmitir 10 bits por símbolo. Es un 25 % más que los 8 bits por símbolo del 256-QAM de Wi-Fi 5. Esta ganancia en eficiencia es especialmente útil en entornos densos como hogares con múltiples dispositivos conectados o redes empresariales.

### **3.4.3. Beneficios**

Por esta forma de modular, el cual aprovecha la combinación de amplitud y fase sobre dos señales ortogonales, QAM permite comprimir más información en menos tiempo, haciendo un uso mucho más eficiente del espectro. Es una de las razones fundamentales por las que tecnologías como Wi-Fi 6 pueden ofrecer velocidades tan altas en entornos cada vez más exigentes.

## **3.5. Mayor ancho de canal (80/160 MHz)**

El ancho de canal en una red Wi-Fi determina la cantidad de espectro de frecuencia disponible para la transmisión de datos. En términos sencillos, un canal más ancho permite que se transfiera una mayor cantidad de información simultáneamente, lo que se traduce en velocidades más altas y mejor capacidad de la red.

Wi-Fi 6 soporta canales de 80 MHz y 160 MHz, igual que Wi-Fi 5, pero puede aprovechar estos anchos de canal de manera mucho más eficiente gracias a tecnologías como OFDMA, MU-MIMO mejorado, modulación 1024-QAM y Target Wake Time (TWT). Estas mejoras permiten que Wi-Fi 6 gestione mejor el uso del espectro, reduzca interferencias y aumente la capacidad para múltiples dispositivos simultáneos.

## **4. Wifi 6, 6E y 7**

### **4.1. Wifi 6E**

Wi-Fi 6E es una extensión del estándar Wi-Fi 6 (802.11ax) que habilita el uso de banda de 6 GHz. Esta nueva banda proporciona hasta 1.200 MHz de espectro adicional, lo que permite incorporar hasta 7 canales de 160 MHz sin solapamiento en países como EE.UU u otros países que tengan habilitado los 6GHz, facilitando conexiones de ultra alta velocidad y baja latencia.

En la práctica, Wi-Fi 6E reduce la congestión, mejora el rendimiento en entornos densamente poblados y minimiza las interferencias causadas por otros dispositivos (como Bluetooth o microondas) que operan en las bandas de 2.4 y 5 GHz.

### **4.2. Wi-Fi 7 (IEEE 802.11be)**

El estándar IEEE 802.11be, conocido comercialmente como Wi-Fi 7, representa la próxima generación de tecnologías de red inalámbrica. Su desarrollo tiene como objetivo responder a las crecientes demandas de velocidad, capacidad, eficiencia espectral y baja latencia requeridas por aplicaciones emergentes como realidad aumentada, streaming en ultra alta definición (8K/16K), videojuegos en la nube, y entornos densamente conectados (IoT y redes empresariales).

### 4.3. Principales características técnicas

Wi-Fi 7 introduce una serie de mejoras clave sobre sus predecesores (Wi-Fi 6 y Wi-Fi 6E).

- Ampliación del ancho de canal: Soporte para canales de hasta 320 MHz, duplicando el máximo de Wi-Fi 6, lo que permite mayor capacidad de transmisión de datos.
- Modulación 4096-QAM (4K-QAM)
- Operación multienlace (MLO): Permite el uso simultáneo de múltiples enlaces en distintas bandas de frecuencia (2.4, 5 y 6 GHz), lo que mejora significativamente el rendimiento, la latencia y la resiliencia de la conexión.
- Coordinated Multi-User MIMO (CMU-MIMO): Mejora el rendimiento en entornos con alta densidad de usuarios, optimizando el uso de múltiples flujos espaciales.
- Latencia controlada bajo demanda: Soporte para transmisión determinística y control de latencia en aplicaciones sensibles al retardo (VR, comunicaciones industriales, etc.).
- Mayor eficiencia energética: Se introducen mejoras adicionales a los mecanismos de ahorro de energía ya presentes en Wi-Fi 6 (como Target Wake Time).

Característica	Wi-Fi 6 (802.11ax)	Wi-Fi 6E (802.11ax)	Wi-Fi 7 (802.11be)
Año de lanzamiento	2019	2021	2024
Bandas de frecuencia	2.4 GHz, 5 GHz	2.4 GHz, 5 GHz, 6 GHz	2.4 GHz, 5 GHz, 6 GHz
Ancho de canal máximo	160 MHz	160 MHz	320 MHz
Modulación máxima	1024-QAM	1024-QAM	4096-QAM
Velocidad teórica máxima	9.6 Gbps	9.6 Gbps	46 Gbps
MU-MIMO	Hasta 8×8	Hasta 8×8	Hasta 16×16
Operación Multi-Enlace (MLO)	No	No	Sí

Cuadro 3: Comparativa entre Wi-Fi 6, Wi-Fi 6E y Wi-Fi 7

## 5. Compatibilidad y estándares

El despliegue eficiente de redes inalámbricas modernas, como las que operan bajo el estándar IEEE 802.11ax (Wi-Fi 6), requiere no solo dispositivos compatibles, sino también una infraestructura física que cumpla con ciertos estándares de cableado estructurado. Aquí es donde entran en juego los estándares definidos por la Telecommunications Industry Association (TIA), que aseguran la calidad, interoperabilidad y escalabilidad de la red.

### 5.1. Retrocompatibilidad

Wi-Fi 6 mantiene retrocompatibilidad con versiones anteriores como Wi-Fi 5 (802.11ac) y Wi-Fi 4 (802.11n), lo que permite que dispositivos antiguos puedan seguir operando en una red Wi-Fi 6, aunque sin aprovechar sus beneficios principales (como OFDMA, MU-MIMO mejorado, y mayor eficiencia energética).

No obstante, la presencia de dispositivos antiguos puede reducir el rendimiento de la red, ya que ocupan el canal por más tiempo. Por eso, es recomendable que tanto el router como los dispositivos clientes sean compatibles con Wi-Fi 6 para obtener el máximo provecho.

Además, es cada vez más común que los administradores de red decidan desactivar el soporte para estándares Wi-Fi más antiguos (como 802.11b o 802.11g). Esto se debe a que estos dispositivos operan a velocidades muy bajas y utilizan métodos de modulación ineficientes, lo que ralentiza el rendimiento general de la red, ya que el medio compartido se vuelve menos eficiente. Por ejemplo, un dispositivo antiguo puede ocupar el canal durante varios milisegundos para transferir datos que un dispositivo moderno enviaría en microsegundos. Esto afecta negativamente a todos los usuarios conectados.

## 5.2. Estándares TIA - Telecommunications Industry Association

Los estándares TIA se ocupan del soporte físico y del entorno de instalación para asegurar que el rendimiento de la red sea óptimo. Establecen las normas para el cableado estructurado, categoría de cables, ubicación de puntos de acceso y demás cosas.

Entre los estándares más relevantes se encuentran:

- TIA-568 (serie): Norma para el cableado estructurado en edificios. Recomienda el uso de categoría 6A o superior, capaz de soportar velocidades de hasta 10 Gbps, necesarias para los puntos de acceso Wi-Fi 6.
- TIA-862: Define pautas de cableado para edificios inteligentes, permitiendo que Wi-Fi conviva con otros sistemas IP como climatización, iluminación y seguridad.
- TIA-1179: Adaptación del TIA-568 para instalaciones hospitalarias, considerando la coexistencia del Wi-Fi con equipamiento médico sensible a interferencias electromagnéticas.
- TIA-942: Se aplica a centros de datos, incluyendo la planificación de zonas con cobertura Wi-Fi para tareas de mantenimiento y monitoreo inalámbrico.
- TIA-4966: Recomendado para entornos educativos, plantea directrices para redes de alta densidad y alta disponibilidad, ideales para aulas con múltiples dispositivos conectados.
- TIA TSB-162-A: Boletín técnico que brinda recomendaciones para el diseño de cableado que da soporte a puntos de acceso inalámbricos. Es esencial para definir distancias, conectores y ubicación óptima de los APs.

## 6. Caso de Uso: Blackpool Pleasure Beach

Blackpool Pleasure Beach es un parque de diversiones, uno de los más conocidos en Reino Unido. Tiene aproximadamente 6 millones de visitantes al año, (15.000 diarios) y un área de aproximadamente 18 hectáreas. Antes contaba con una infraestructura para red Wi-Fi, la cual tenía varias deficiencias, como black spots y con la llegada del covid querían hacer un sistema de E-Tickets por lo que la anterior red no funcionaba.

El desafío era proporcionar una infraestructura que cubra la totalidad del parque, y además esté preparada para soportar las operaciones nuevas del parque.

### 6.1. Solución Implementada y tecnologías

La solución que implemento CommScope fue una basada en tecnología RUCKUS.

#### 6.1.1. Puntos de acceso

Se desplegaron Puntos de acceso (AP) con tecnología Wi-Fi 6 y 6E, como el R750, y el T350SE de exterior, que fueron diseñados para soportar entornos de alta densidad.

#### **6.1.2. Switches ICX®**

Switches ICX® de RUCKUS: Para garantizar una infraestructura cableada eficiente y escalable.

#### **6.1.3. BeamFlex+®**

Se usaron Antenas BeamFlex+®, que son una tecnología que a diferencia de las antenas omnidireccionales o tradicionales, estas dirigen mejor los haces, para que la señal llegue mejor a los dispositivos.

#### **6.1.4. ChannelFly™**

Otra tecnología usada fue ChannelFly™. Esta busca qué canal (2.4GHz, 5Ghz, o 6 Ghz) conviene para transmitir datos, viendo la velocidad de transmisión real y la congestión del canal.

#### **6.1.5. SmartZone™**

Además, se usó un Controlador virtual RUCKUS SmartZone™, que es un sistema de control centralizado para administrar todos los APs, switches y políticas de red.

#### **6.1.6. RUCKUS Analytics™**

RUCKUS Analytics™: Es una herramienta de análisis predictivo para la detección y prevención de fallos, además de monitoreo continuo del rendimiento de la red.

### **6.2. Conclusion del caso:**

La renovación de la red Wi-Fi en Blackpool Pleasure Beach permitió resolver los problemas del sistema anterior y sentó las bases para un parque más conectado, eficiente y preparado para el futuro. Los visitantes ahora disfrutan de una experiencia digital segura, sin interrupciones y mucho más cómoda.

## 7. Bibliografía

- Definición de WiFi, Telefónica, [Qué es el wifi](#)
- Información sobre Wi-Fi Alliance, D-Link, [¿Qué es la Certificación Wi-Fi Alliance y por qué debería importarle?](#)
- Definición de Wi-Fi 6, TP-Link, [Qué es wi-fi 6 y cuales son sus ventajas](#)
- Definición de Wi-Fi 6, Huawei, [¿Qué es Wi-Fi 6? - Conceptos Básicos — Wireless](#)
- Definición de Wi-Fi 6, Intel, [¿Qué es Wi-Fi 6?](#)
- Información sobre WiMAX, WimaxForum, [Technical Specification Library](#)
- Estándar de WiMAX, Wikipedia, [IEEE 802.16](#)
- Información sobre MU-MIMO, TP-Link, [MU-MIMO](#)
- Información sobre MU-MIMO, Ray, [What is MU – MIMO?](#)
- Información sobre OFDMA, abc xperts, [¿Qué es OFDMA y cómo mejora la transmisión inalámbrica de datos?](#)
- Información sobre OFDMA, Asus, [\[Wireless\] ¿Qué es OFDMA?](#)
- Información sobre OFDMA, CISCO, [What Is OFDMA?](#)
- Información sobre OFDMA, Linkedin, [¿Cuáles son las diferencias clave entre OFDM y OFDMA para el acceso múltiple?](#)
- Información sobre MU-MIMO y comparación con Wi-Fi 5, Huawei, [¿Qué es OFDMA?](#)
- Información sobre TWT, Huawei, [Target Wake Time](#)
- Información sobre TWT, TP-Link, [Wi-Fi 6 Fundamentals: Target Wake Time \(TWT\)](#)
- Información sobre QAM, Digi, [QAM \(modulación de amplitud en cuadratura\)](#)
- Información sobre QAM, Huawei, [What Is QAM?](#)
- Información sobre Wi-Fi 6, Digi, [Dispositivos compatibles con Wi-Fi 6 y sus casos de uso](#)
- Información sobre estándares TIA, [Estándares TIA](#)
- Dispositivos compatibles con Wi-Fi 6 y sus casos de uso, [Digi International](#)
- Qué es Wi-Fi 6 y qué ventajas tiene respecto a versiones anteriores, [Xataka](#)
- Compatibilidad de Wi-Fi 6 con versiones anteriores, [ComputerWeekly](#)
- Compatibilidad hacia atrás del estándar Wi-Fi, [The Verge](#)
- Puntos de acceso Wi-Fi 6 certificados por Wi-Fi Alliance, [D-Link](#)
- Interoperabilidad en el ecosistema Wi-Fi: colaboración y avances, [Wi-Fi Alliance](#)
- Caso de uso, [Blackpool Pleasure Beach](#)
- Información sobre tecnología RUCKUS, [Tecnología Ruckus](#)