

# LAN inalámbrica 802.11ac. Novedades y su repercusión en el diseño y las pruebas

Por Mirin Lew de Agilent Technologies

 **Agilent Technologies**  
www.agilent.com

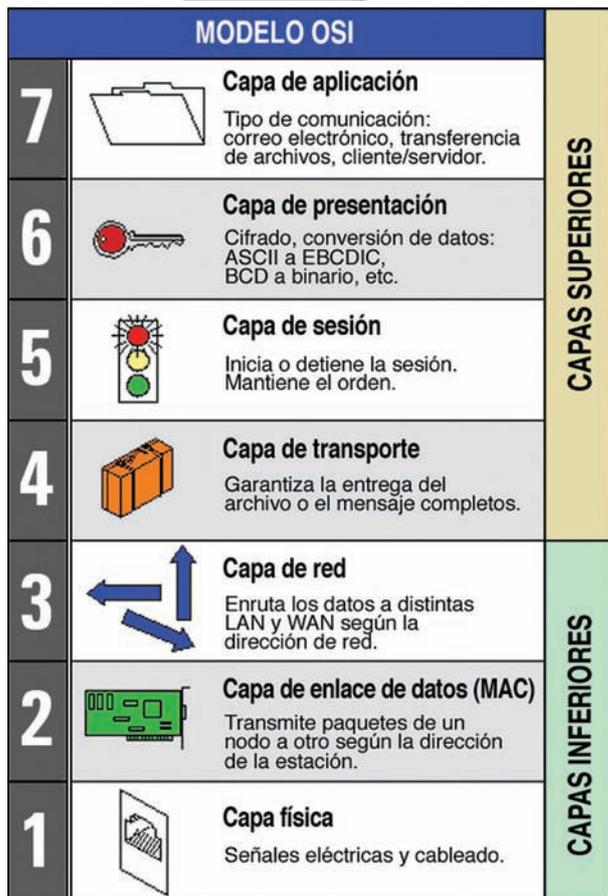
Los estándares para LAN inalámbrica que se difundieron en primera instancia (IEEE 802.11a y b), y luego 802.11g, se diseñaron esencialmente para conectar un PC portátil en el hogar y la oficina y, más tarde, para proporcionar conectividad "durante los desplazamientos": en aeropuertos, hoteles, cibercafés y centros comerciales. Su función principal era suministrar un enlace a una conexión de banda ancha por cable para navegar por Internet y utilizar el correo electrónico. Dado que la velocidad de la conexión de banda ancha actuaba como factor limitador, bastaba con disponer de una conexión inalámbrica de velocidad relativamente baja.

El estándar 802.11b suministraba hasta 11 Mb/s a 2,4 GHz, y las velocidades de transmisión de datos se incrementaron hasta 54 Mb/s con 802.11a a 5 GHz y con 802.11g a 2,4 GHz, todo ello en bandas de espectro sin licencia.

Con el fin de responder a estas exigencias, un nuevo grupo de trabajo del IEEE (TGac) intenta especificar el estándar 802.11ac para que ofrezca "muy alto rendimiento" (Very High Throughput o VHT) como extensión de 802.11n,

Tabla 1. Nuevos modelos de uso de la WLAN

Figura 1. Modelo de la capa OSI 7. Tomada de Computer Desktop Encyclopedia. Reproducida con permiso. (c) 2011 The Computer Language Company Inc.



Categoría	Modelo de uso
1. Pantalla inalámbrica	<ul style="list-style-type: none"> <li>Almacenamiento y visualización del escritorio</li> <li>Proyección a un televisor o proyector en salas de conferencias o auditorios</li> <li>Juegos desde las habitaciones de hotel</li> <li>Flujos continuos de la videocámara a la pantalla</li> <li>Grabación profesional de emisiones externas en HDTV</li> </ul>
2. Distribución de HDTV	<ul style="list-style-type: none"> <li>Flujo continuo de video en el hogar</li> <li>Aplicaciones en grandes vehículos (p. ej., aviones, ferris)</li> <li>Conexión en redes inalámbricas para oficinas</li> <li>Asistencia médica remota</li> </ul>
3. Carga/descarga rápidas	<ul style="list-style-type: none"> <li>Transferencia y sincronización rápidas de archivos</li> <li>Visualización imagen a imagen</li> <li>Repostaje de aviones (manifestos, carburante, catering...)</li> <li>Descarga de contenido de películas en el dispositivo móvil</li> <li>Transferencia de datos de vigilancia policial</li> </ul>
4. Tráfico de regreso	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tráfico de regreso de malla multimedia</li> <li>Tráfico de regreso punto a punto</li> </ul>
4. Tráfico de regreso	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tráfico de regreso de malla multimedia</li> <li>Tráfico de regreso punto a punto</li> </ul>
5. Exteriores de campus/auditorios	<ul style="list-style-type: none"> <li>Demostraciones en video/telepresencia en auditorios</li> <li>Red de seguridad pública (presencia de incidentes)</li> </ul>
6. Fábricas	<ul style="list-style-type: none"> <li>Automatización</li> </ul>

Sin embargo, aparecieron nuevos modelos de uso que requerían un mayor rendimiento: por ejemplo, para compartir datos entre dispositivos conectados en el hogar o pequeñas oficinas y para utilizar impresoras inalámbricas. Se estableció un proyecto de estudio a raíz del cual se creó el estándar 802.11n en 2009. Este estándar aumentaba la velocidad máxima de transmisión de datos de un solo canal hasta más de 100 Mb/s e introducía MIMO (múltiples entradas y salidas o transmisión espacial). De esta forma, un máximo de 4 antenas físicas distintas de transmisión y recepción transportan datos independientes que se agregan en el proceso de modulación/demodulación.

suministrando como mínimo un único enlace de 500 Mb/s y un rendimiento total de 1 Gb/s, y operando en la banda de 5 GHz. Dado el gran número de dispositivos cliente con los que contamos hoy en día (ordenadores portátiles, miniportátiles, tablets y smartphones), se hace imprescindible ofrecer compatibilidad con los estándares existentes que utilizan el mismo rango de frecuencias. El objetivo es que toda la serie de estándares 802.11 sea compatible con los estándares existentes, que 802.11ac sea compatible en la capa de control de acceso al medio (MAC) o de enlace de datos y que difiera sólo en las características de la capa física (véase la Figura 1). Se prevé que el estándar 802.11ac esté listo a finales de 2013, si bien antes pueden aparecer dispositivos que cumplan las versiones provisionales de los estándares.

En la actualidad hay otros modelos de uso, resumidos en la Tabla 1, que exigen una capacidad de datos todavía más alta que permita trabajar en las oficinas "sin cables" de hoy en día.

### Diferencias técnicas respecto a 802.11n

La capa física 802.11ac es una extensión del estándar 802.11n existente y mantiene la compatibilidad con él. La Tabla 2 muestra las características de la capa física de 802.11n, y la Tabla 3 muestra cómo se amplían para obtener 802.11ac. La velocidad máxima teórica de transferencia de datos de 802.11n es de 600 Mb/s utilizando un ancho de banda de

Característica	Obligatoria	Opcional
Ancho de banda del canal	20 MHz, 40 MHz, 80 MHz	160 MHz, 80+80 MHz
Tamaño de FFT	64, 128, 256	512
Pilotos/subportadoras de datos	52/4, 108/6, 234/8	468/16
Tipos de modulación	BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM	256QAM
MCS compatibles	De 0 a 7	8 y 9
Flujos espaciales y MIMO	1	De 2 a 8 Modelado de canales de transmisión, STBC MIMO multiusuario (MU-MIMO)
Modo operativo/formato PDU	Muy alto rendimiento/VHT	

Tabla 3. Especificaciones principales de IEEE 802.11ac

Característica	Obligatoria	Opcional
Método de transmisión	OFDM	
Ancho de banda del canal	20 MHz	40 MHz
Tamaño de FFT	64	128
Pilotos/subportadoras de datos	52/4	108/6
Espacio entre subportadoras	312,5 kHz	
Duración de símbolo OFDM	4 ms (intervalo de guarda de 800 ns)	3,6 ms con intervalo de guarda corto
Tipos de modulación	BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM	
Corrección de errores FEC	Codificación convolucional binaria (BCC)	Comprobación de paridad de baja densidad (LDPC)
Velocidades de codificación	1/2, 2/3, 3/4, 5/6	
MCS compatibles	De 0 a 7, de 0 a 15 para puntos de acceso	De 8 a 76, de 16 a 76 para puntos de acceso
Flujos espaciales y MIMO	1, 2 para puntos de acceso mapeo directo	3 o 4 flujos Modelado de canales de transmisión, STBC
Modo operativo/formato PDU	Legado/no HT (802.11a/b/g) Mixto/no HT (802.11a/b/g/n)	Greenfield/HT-Greenfield (sólo 802.11n)

Tabla 2. Especificaciones principales de IEEE 802.11n

802.11ac se definen nuevos valores para canales de 80 MHz, y un canal de 160 u 80+80 MHz se define de la misma forma que dos canales de 80 MHz.

En la estructura de tramas, los campos de preámbulo y aprendizaje permiten al receptor detectar automáticamente el estándar de la capa física que se está utilizando. En la Figura 3 se muestran las tramas de preámbulo de 802.11n y 802.11ac. Los 4 primeros campos de ambos preámbulos están concebidos para su recepción en estaciones no HT y no VHT con el fin de que admitan estándares anteriores. Los campos de aprendizaje corto y largo (L-STF y L-LTF) iniciales y el campo de señal (L-SIG), todos ellos legados, son similares a esos mismos campos de 802.11a/b/g, mientras que la diferencia en el 4º campo (símbolos 6 y 7) identifica la trama como 802.11n u 802.11ac.

40 MHz con 4 flujos espaciales, aunque la mayoría de los dispositivos comerciales sólo admite 2 flujos. Por lo que respecta a 802.11ac, la velocidad máxima teórica de transferencia de datos es de 6,93 Gb/s empleando un ancho de banda de 160 MHz, 8 flujos espaciales, MCS9 con modulación 256QAM y un intervalo de guarda corto. En el caso de los dispositivos comerciales, resultaría más práctico que la velocidad máxima de transferencia de datos fuera de 1,56 Gb/s, lo cual requeriría un canal de 80 MHz con 4 flujos espaciales, MCS9 y un intervalo de guarda normal.

Para los canales de 20 y 40 MHz, tanto el número de subportadoras y pilotos como sus posiciones son iguales que en 802.11n. En

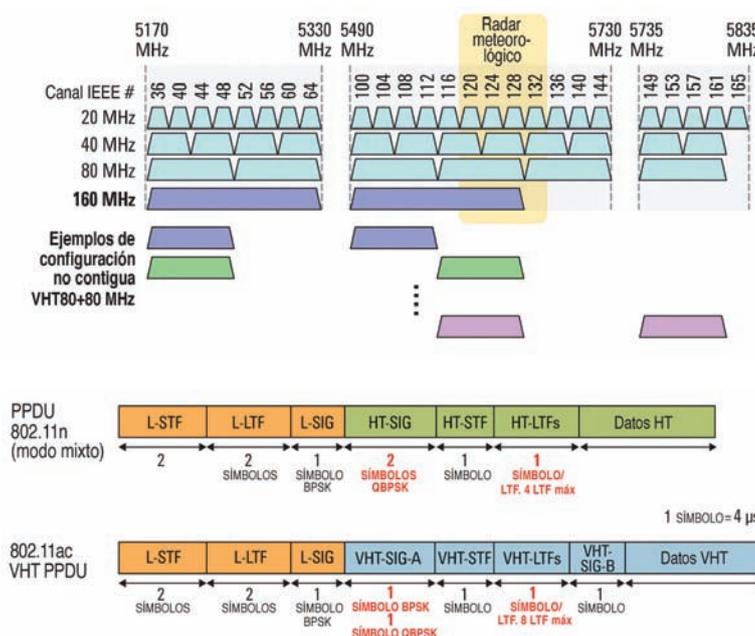


Figura 2. Asignación de frecuencias de IEEE 802.11ac para Europa, Japón y otras regiones mundiales.

La Figura 2 muestra los nuevos anchos de banda obligatorios del canal, de mayor amplitud. Si bien los modos de 160 MHz y 80+80 MHz se incluyen como características opcionales en el estándar 802.11ac, es probable que los primeros dispositivos tengan un ancho de banda máximo de 80 MHz y no más de los 4 flujos espaciales máximos especificados en 802.11n.

Figura 3. Comparación de los formatos de trama de 802.11n y 802.11ac.

Figura 4. Configuraciones de MIMO en un dispositivo individual, MU-MIMO se ha diseñado para reutilizar recursos y mejorar la eficiencia, si bien se mantiene la velocidad de transmisión de datos para cualquier dispositivo individual.

Examinando el preámbulo VHT con más detalle, para los canales con un ancho superior a 20 MHz, los campos legados se duplican en cada subbanda de 20 MHz con la correspondiente rotación de fase. Las subportadoras rotan 90 o 180 grados en determinadas subbandas a fin de reducir la relación de potencia media a pico (PAPR). Para señalar una transmisión VHT y habilitar la autodetección, el primer símbolo

Los restantes campos del preámbulo están destinados únicamente a dispositivos VHT. El VHT-STF se utiliza para mejorar la estimación automática de control de ganancia en transmisión de múltiples entradas y salidas (MIMO). A continuación se encuentran las largas secuencias de aprendizaje que permiten al receptor calcular el canal MIMO entre las antenas de transmisión y recepción. Puede haber 1, 2, 4, 6 u 8 VHT-LTF, según el número total de flujos espacio-temporales. La matriz de mapeo para 1, 2 o 4 VHT-LTF es igual que en 802.11n, a lo que se han añadido otras nuevas para 6 u 8 VHT-LTF. El campo VHT-SIG-B describe la longitud de los datos y el sistema de modulación y codificación (MCS) para los modos de uno o de múltiples usuarios.

La verdadera tecnología MIMO (múltiples entradas y salidas), mostrada aquí con dos transmisores y dos receptores con contenido de datos independiente, también se denomina multiplexión espacial. Cada receptor ve una combinación de las salidas de los transmisores. Utilizando técnicas de estimación de canales, los receptores emplean matemáticas de matriz para separar los dos flujos de datos y demodular los datos. En condiciones idóneas, con máxima descorrelación entre los flujos, la capacidad de datos se duplica, si bien presenta una desventaja: exige una mejor relación señal-ruido.

Los típicos dispositivos comerciales 802.11n admiten dos o tres flujos espaciales en lugar de los cuatro máximos que especifica el estándar. 802.11ac lo amplía hasta un máximo de ocho flujos, aunque es probable que las primeras implementaciones admitan un máximo de cuatro. Una novedad de 802.11ac es el concepto de MIMO multiusuario (MU-MIMO). En comparación con MIMO "normal" (es decir, de un solo usuario), que mejora el rendimiento de datos.

### MIMO actualizada

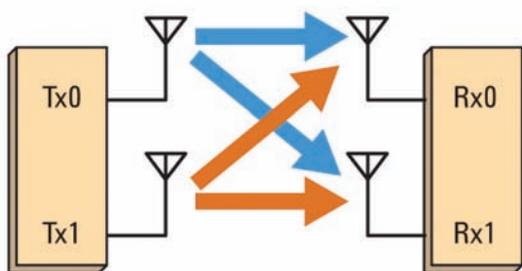
En los estándares WLAN existentes sólo había un flujo de datos entre el punto de acceso y el dispositivo. El primer estándar en incorporar transmisión MIMO fue el 802.11n, e incluía nuevos requisitos donde el punto de acceso y el dispositivo se comunican utilizando dos o más cadenas de transmisión/recepción completamente separadas y aprovechan el acoplamiento cruzado entre ellas. El objetivo principal era incrementar la velocidad de transmisión de datos que un usuario individual podría obtener de su conexión inalámbrica. En las especificaciones, los términos "entrada" y "salida" hacen referencia al soporte entre los transmisores y los receptores —incluidos los componentes de RF de ambos—, denominado "canal". De este modo, un punto de acceso con dos transmisores proporciona dos entradas al canal (la parte "MI"), y un dispositivo con dos cadenas de recepción toma dos salidas del canal (la parte "MO"). Para obtener verdadera tecnología MIMO, los datos transmitidos por cada cadena deben ser independientes y no sólo una copia de los mismos datos.

### Requisitos de prueba

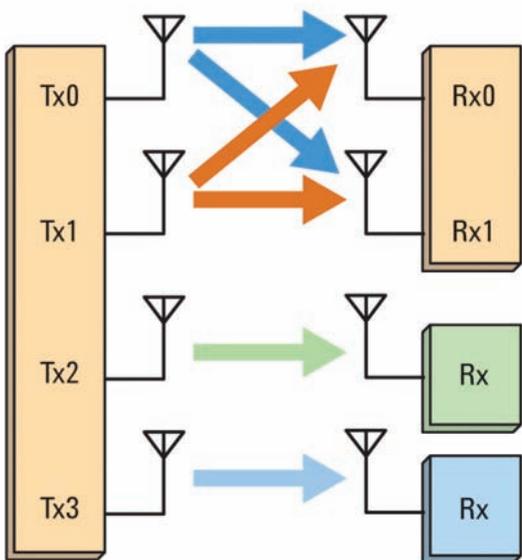
Los elevados volúmenes de los dispositivos WLAN exigen que se preste especial atención a los costes de fabricación y al uso de técnicas de diseño innovadoras que maximicen la repetibilidad y minimicen el coste de las pruebas. Esto lleva a la necesidad de realizar pruebas exhaustivas durante las fases de diseño y preproducción del desarrollo.

Las pruebas de transmisores y receptores del estándar 802.11ac son similares a las del 802.11n, con el añadido de definiciones y límites de especificación nuevos para cubrir las características actuales. Consulte la Tabla 4. Los suscriptores pueden descargar la última versión de la especificación 802.11ac desde [www.ieee802.org](http://www.ieee802.org).

MIMO (2x2)



MIMO MULTIUSUARIO  
4 flujos, 3 usuarios



de VHT-SIG-A es BPSK, mientras que el segundo símbolo es BPSK con rotación de 90 grados (QBPSK). En esto se diferencia de HT-SIG para 802.11n, donde ambos símbolos utilizan modulación QBPSK. El campo VHT-SIG-A contiene la información necesaria para interpretar paquetes VHT: ancho de banda, número de flujos, intervalo de guarda, codificación, MCS y modelado de canales.

Tabla 4. Pruebas de transmisor y receptor

Pruebas de transmisor	Pruebas de receptor
Máscara de espectro de transmisión	Mínima sensibilidad a nivel de entrada
Planicidad espectral	Rechazo del canal adyacente
Tolerancia de frecuencia del centro de transmisión	Rechazo del canal no adyacente
Alineación de paquetes	Nivel máximo de entrada del receptor
Tolerancia de frecuencia del reloj de símbolo	Sensibilidad de evaluación de canal libre (CCA)
Precisión de modulación	
- Fuga de frecuencias del centro de transmisión	
- Error de constelación del transmisor (EVM)	



Figura 5. VSA de la Serie 89600B con opción BHJ 802.11ac.

Además de estas pruebas, los diseños deberán superar pruebas de cumplimiento de homologaciones y pruebas funcionales adicionales para verificar el rendimiento y demostrar su interoperabilidad.

### Desafíos para el diseño y las pruebas

Algunas de las funciones nuevas del estándar 802.11ac plantean nuevos desafíos para el diseño y las pruebas. Uno de ellos es el uso de modulación 256QAM, que requiere una excelente magnitud del vector de error (EVM) o del error de constelación en el transmisor y el receptor. El análisis vectorial de señales proporciona información sobre las causas de una EVM deficiente, y sistemas como el software VSA de la Serie 89600 de Agilent permiten obtener análisis detallados de señales 802.11ac.

El análisis de modulación admite todos los anchos de banda y los tipos de modulación, hasta 4x4 MIMO

Otro difícil desafío es la predistorsión digital para mejorar la linealidad de amplificadores de potencia, que suele requerir la generación y la medida de

señales con un ancho de banda de 3 a 5 veces superior al del amplificador linealizado. El software SystemVue de Agilent proporciona una aplicación que automatiza el diseño de predistorsión digital. El software genera una forma de onda de estímulo que se descarga en un generador de señales de RF y se aplica al amplificador de potencia. La respuesta del amplificador se captura utilizando un analizador de señales y se compara con la señal deseada para crear la matriz de predistorsión. A continuación se envía la señal predistorsionada al amplificador de potencia y se comprueba la respuesta. En la Figura 6 se muestra un ejemplo de configuración.

La continua necesidad de incrementar la velocidad y el ancho de banda en las conexiones LAN inalámbricas y la creciente complejidad de los estándares que la sustentan plantean importantes desafíos a la comunidad de prueba y medida. Disponer de una capacidad de diseño

y prueba completa es esencial para implementar con éxito los productos WLAN VHT en el mercado de consumo. Tanto las herramientas de simulación de sistemas como la generación y el análisis de grandes anchos de banda de 80 y 160 MHz para 802.11ac son fundamentales para comprobar componentes, transmisores y receptores. Prestar especial atención al diseño para fabricación ayudará a minimizar el coste de las pruebas y garantizará que los puntos de acceso y los clientes responden a las expectativas de precio y rendimiento de los consumidores.

Figura 6. Sistema de predistorsión digital.

