

# LTE: Escenarios de test usados en desarrollo de productos

Por Alejandro Nieto



Alejandro Nieto, Departamento de Instrumentación de Rohde & Schwarz España.

Como parte del estándar mundial 3GPP Release 8, Long Term Evolution (LTE) ha estado completamente definido desde marzo 2009. Esta nueva tecnología se considera hoy una mejora esencial de las tecnologías de comunicaciones móviles "clásicas" como GSM/EDGE, WCDMA/HSPA(+) y CDMA2000®/Ev-Do Rev.A. Esta nueva tecnología promete a los usuarios finales mayores tasas binarias, capacidad en la red y mejoras de latencia. LTE también permite a los operadores de red entregar los servicios existentes – navegación web, juegos, streaming de vídeo, etc. – de una forma más eficiente y barata, y abrirá las puertas a nuevos servicios móviles. Esto ha llevado a no menos de 51 operadores en 24 países a anunciar planes de desplegar LTE en sus redes. Un número considerable de redes comerciales serán desplegadas en 2010. Por tanto, LTE está siendo actualmente testado de forma intensiva – desde test en laboratorios con dispositivos individuales hasta test en campo con unas pocas estaciones base y dispositivos de una variedad de suministradores. También se están realizando pruebas en redes mayores con numerosas estaciones base y un número significativo de terminales de usuarios. ¿Qué requerimientos tiene que cumplir esta tecnología y cómo el rendimiento de LTE puede alcanzarse y verificarse de forma efectiva en un entorno de laboratorio con pruebas adecuadas? Este artículo comienza mirando las diferencias entre LTE y las tecnologías existentes antes de proceder a examinar en las distintas fases en el desarrollo de una infraestructura LTE y equipos de usuario.

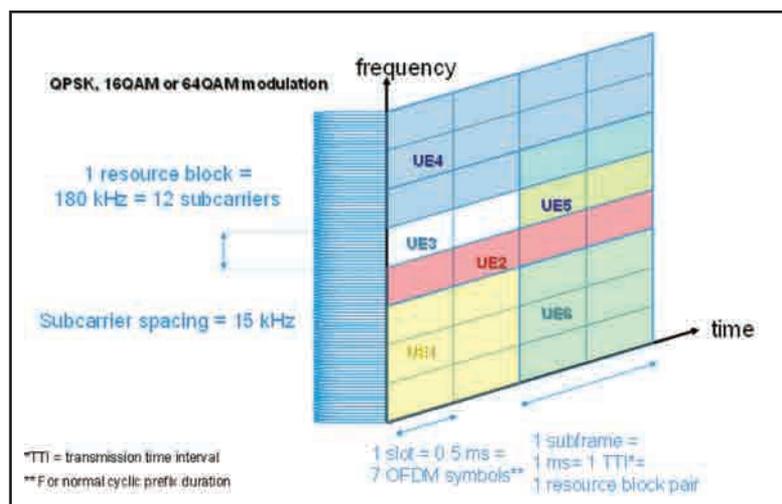
con 200 kHz en GSM y 5 MHz en WCDMA). Esta mejora, combinada con un tamaño máximo de canal de 20 MHz y con la habilidad de trabajar con hasta cuatro antenas antes de transmisión y recepción, crea las condiciones básicas necesarias para satisfacer los requerimientos de tasa binaria y capacidad.

LTE también simplifica de forma importante la correspondencia de canales lógicos a canales físicos. Los canales compartidos se han sustituido por canales dedicados y el número de las entidades de capas MAC y estados RRC se han reducido para mayor simplicidad. En cambio, el número de procesos en paralelo del protocolo se han incrementado, y los múltiples streams de datos pueden combinarse

Figura 1. Modulación OFDMA en LTE

## Parecidas pero diferentes: LTE y tecnologías existentes

LTE fue desarrollado dentro del 3GPP basándose en las existentes tecnologías. Por tanto no es sorprendente que, a pesar de sus numerosas diferencias, LTE tenga mucho en común con ellas. Esto es especialmente cierto cuando se compara con HSPA(+), una tecnología establecida para servicios orientados a paquetes. En LTE, al igual que en HSPA(+), el reparto de recursos para la transmisión de datos desde la estación base al equipo de usuario se basa en un modo de realimentación rápido en el terminal del usuario. El dispositivo evalúa la calidad del canal de transmisión e informa a la estación base del reparto del máximo tamaño de recurso. La única diferencia es que LTE acelera mucho este modo de realimentación comparado con HSPA(+): LTE usa 1 ms de tiempo de intervalo de transmisión (TTI), comparado con un mínimo de 2 ms TTI en HSPA(+) y 10 ms TTI en WCDMA, permitiendo que la tasa binaria se adapte a las condiciones de transmisión prácticamente cada milisegundo.



La mayor diferencia entre LTE y los estándares existentes 3GPP son las tecnologías para implementar el interfaz aire. Estas incluyen Acceso Múltiple con División en Frecuencias Ortogonales (OFDMA, ver Fig. 1) y Multiple Input Multiple Output (MIMO). Además, LTE funciona con una arquitectura de red muy plana basada en IP. OFDMA permite la asignación de recursos granular debido a que LTE usa un gran número de subportadoras de banda estrecha (15 kHz comparado

usando MIMO. La funcionalidad de encriptado ha cambiado también: en LTE el eNodeB y MME usan claves diferentes. Esto significa que los datos en la capa PDCP y en la capa NAS se encriptan de forma diferente (en WCDMA, la capa NAS no se encripta). Esto tiene efectos extensos en la señalización.

Además, la forma en que LTE se integra en redes existentes juega un rol crucial, que será explicado con más detalle en las siguientes secciones.



Durante los tests de transmisión se usa una gran variedad de métodos de medida.

Primero, la señal LTE se prueba usando métodos probados – por ejemplo, medidas potencia y EVM – adoptados de otras tecnologías de comunicación.

Segundo, se verifican procedimientos extensivos como control de potencia basado en perfiles – usados tanto en LTE como en WCDMA.

Muchas de las medidas se parecen a procedimientos bien conocidos, pero en LTE son mucho más complejos. Las medidas de espectro son un

caso importante: el hecho de que las bandas de frecuencia de LTE y WCDMA puedan ser adyacentes hace que las exigencias del equipamiento de usuario sea excepcional. La potencia transmitida en las bandas adyacentes no puede exceder los límites específicos de LTE o WCDMA. Para comprobar esto, se realiza un test extendido para la potencia de canal adyacente (ACLR). Esto ayuda a prevenir interferencias entre sistemas LTE y WCDMA vecinos (ver Fig. 3).

El uso de OFDM, que permite la asignación de bloques de recursos basados en TTI, ha hecho que haya

cambios significativos en los requerimientos de test. Los equipos de medida deben ser capaces de configurar flexiblemente los requisitos de los parámetros de scheduling. Al mismo tiempo, la correcta asignación de los bloques de recurso y la característica de los transmisores de los equipos de usuario deben ser comprobados en el enlace ascendente (ver Fig. 4).

Dado que múltiples dispositivos de usuario pueden usar el ancho de banda disponible de forma concurrente, las emisiones en banda deben ser medidas para determinar si el dispositivo de usuario cumple con los requerimientos de asignación y potencia de transmisión para el enlace ascendente. Esto permite comprobar que el dispositivo no interfiera con otras señales de ascendente fuera de sus bloques de recurso asignados. Si el equipo de medida puede establecer límites flexibles y comprobar los límites independientemente, esto simplifica mucho las tareas de test (ver Fig. 5).

Dadas las opciones de asignación disponibles, un gran número de resultados de test son generados. Estos resultados dependen extensivamente de la localización y el tamaño de los bloques de recurso asignados en el dominio de tiempo/frecuencia y deben, por tanto, ser interpretados siempre en su contexto. Además, algunos impedimentos de RF sólo tienen efecto en ciertas asignaciones.

La distribución de la potencia de transmisión a lo largo de múltiples subportadoras puede llevar a potencias diferentes entre las subportadoras individuales. La potencia de transmisión en el nivel de subportadora puede ser examinado realizando un test de planicidad espectral. Esto permite a los usuarios identificar las potenciales fluctuaciones con una precisión excepcional.

En los tests de recepción, los métodos BLER localizados basados en ACK/NACK se usan en la capa MAC. Estos métodos para analizar el ascendente son familiares desde HSPA. Con LTE MIMO, el foco es en escenarios en los que varios perfiles de fading son aplicados a la señal descendente. Para reducir el tiempo de desarrollo y los costes, se pueden usar modelos estáticos de canal que simulan un perfil estático de fading en lugar de perfiles de fading dinámicos. Esto permite

Figura 3. Medida ACLR en señal LTE

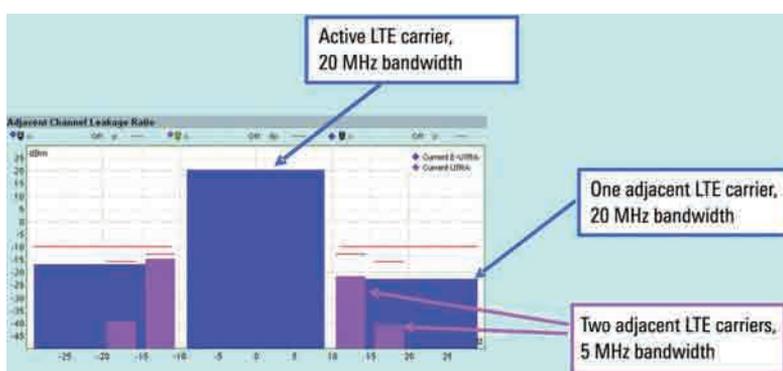


Figura 4. Medida que muestra la asignación parcial de los bloques de recurso

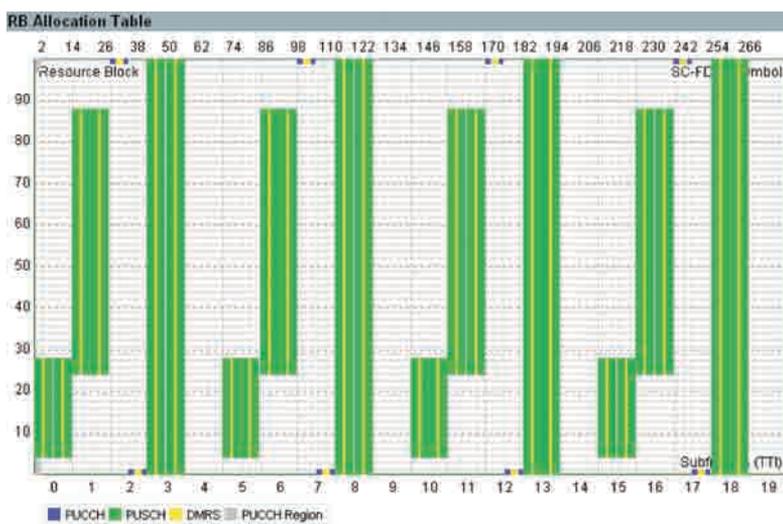


Figura 5. Potencia transmitida en el nivel de bloque de recurso



efectos en el comportamiento del receptor que pueden ser analizados con los métodos BLER mencionados arriba. En HSPA, además, la señal de descendente se mide con fading y con AWGN. En LTE, hay además señales interferentes causadas por otras tecnologías dentro y fuera de la banda LTE que necesitan test de bloqueo y de canal adyacente más amplios.

El test Follow UL CQI, también familiar de HSPA, es muy importante como método para ajustar los parámetros de señalización y por tanto optimizar la calidad de señal recibida reportada por el dispositivo de usuario a través del channel quality indicator (CQI). Varios valores afectan la calidad en LTE, incluyendo los valores CQI rango 1 o rango 2, los indicadores de matriz precodificadora (PMI) y los indicadores de rango (RI). Para ahorrar tiempo durante estos test estos parámetros pueden cambiar dinámicamente en las conexiones activas con los equipos de medida.

Los equipos de test de dispositivos de usuario necesitan un amplio número de métodos de medida que sirvan para comprobar la transmisión RF en combinación con la asignación de los bloques de recurso en el ascendente. Idealmente, los datos usados para calcular las medidas TX deben originarse de un ejemplo de test y ser mostrados simultáneamente en una forma claramente estructurada (ver Fig. 6).

**A nivel de protocolo, los tests de rendimiento toman prioridad**

Todos los dispositivos de usuario de LTE hasta la fecha son dispositivos de datos – en otras palabras, sticks USB y PC cards. El motivo de introducir LTE es principalmente el sector de los servicios de datos, y esto implica que la transmisión de voz o los mensajes SMS tienen menos importancia. Esto se sostiene en el debate continuo de las alternativas técnicas para el servicio de voz y en el hecho de que hay un número de grupos con intereses especiales en este hecho que se han formado dentro de la industria. Todavía queda ver cual de las alternativas gana fuerza. De todas formas, los servicios de datos definitivamente tie-

nen requerimientos más estrictos que los servicios de voz desde el punto de vista de tests de protocolos y sistemas de medida.

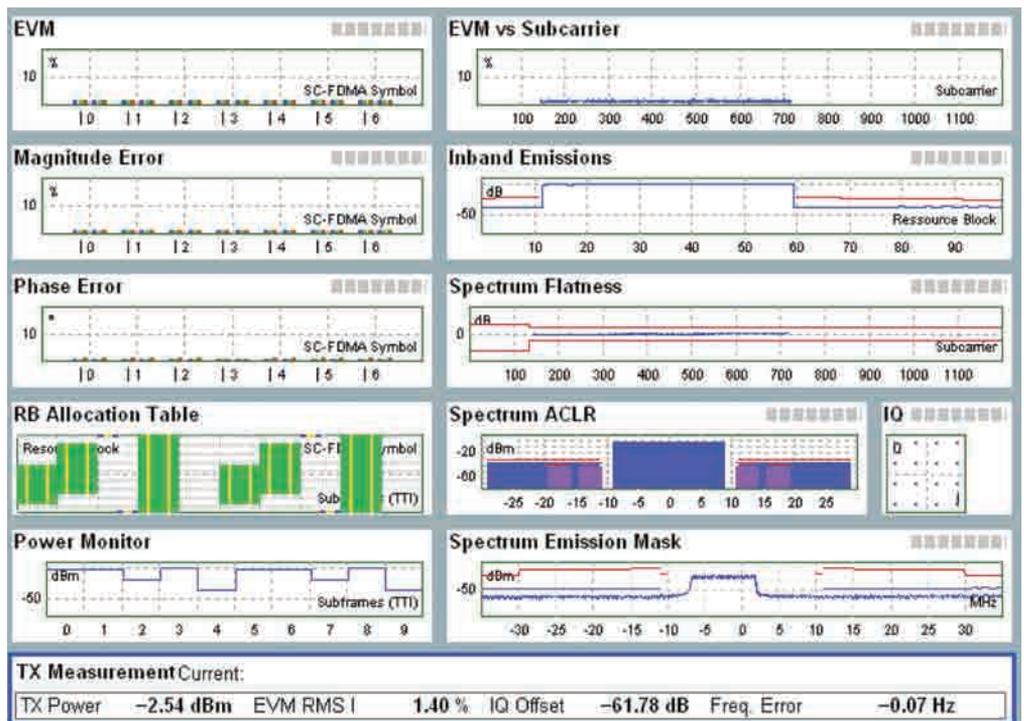
En LTE, sólo existe el dominio de la conmutación de paquetes (PS), no existe el dominio de conmutación de circuitos (CS). En general, múltiples servicios con diferentes fines operan en paralelo de una forma comparable a los servicios multillamada de WCDMA. Es más, una vez encendido y registrado, los terminales de usuario inmediatamente tiene un estado “siempre activo” y puede requerir transmitir datos en ascendente o descendente casi instantáneamente. Esto significa que los tests funcionales a lo largo de todas las capas requieren que los equipos de medidas proporcionen un servicio que entreguen datos a través del plano de usuario (U-plane).

El rendimiento de un dispositivo móvil es de una relevancia directa para los usuarios finales. ¿Cómo de rápido es la tasa binaria y cuál es la latencia cuando se comience un servicio? ¿Cómo se degrada el rendimiento cuando la recepción es pobre? ¿Garantiza el dispositivo la interoperabilidad entre distintas estaciones base? Encontrar respuestas a estas preguntas y optimizar el servicio de datos no se realiza simplemente comprobando los proce-

dimientos de señalización o los valores individuales medidos a nivel IP. En su lugar, es importante analizar los cuellos de botella en las capas de protocolo: ¿Cuál es el nivel que causa las retransmisiones innecesarias? ¿Por qué el BLER se incrementa bajo ciertas condiciones? Esas son las preguntas que un equipo de test y medida de protocolos tiene que contestar además de verificar los procesos de señalización. Por tanto, la línea entre los test clásicos de aplicación y los tests de protocolos se están difuminando.

Si los módulos individuales van a ser comprobados durante el proceso de desarrollo, los equipos de test y medida deben proporcionar los interfaces necesarios. En el pasado generalmente parecía suficiente con conectar al equipo de usuario a través de RF, pero hoy es esencial proporcionar interfaces I/Q en banda base. Esto es porque el software de protocolo corre en un chip banda base o en una emulación de chip. Es incluso posible comprobar un stack de protocolo completamente sin hardware si la capa física se reemplaza con software de emulación. Para poder cumplir con los requerimientos explicados, es esencial tener acceso a los detalles y configuración de la capa de protocolo de bajo nivel.

Figura 6. Todas las medidas de un vistazo en modo multi-evaluación



Como ya se ha explicado, las redes LTE sólo se van a desplegar gradualmente. El despliegue requerirá medidas intensivas de señalización de traspasos, ya que es importante que el equipo de usuario haga transiciones suaves entre distintas tecnologías. Esto significa que es esencial para un equipo de test y medida proporcionar una implementación básica de todas las tecnologías y soportar sincronización con LTE. Dado que MIMO juega un rol central en permitir tasas binarias altas, los procedimientos de señalización complejos y la realimentación del usuario deben ser comprobadas.

### Avanzando: pasos iniciales hacia el test de conformidad

La certificación GCF para equipos de usuario LTE empezará a finales de 2010. Los primeros test cases basados en las especificaciones 3GPP 36.521 y 36.523 ya han sido validados. ETSI ha elegido TTCN3 como lenguaje para describir los test. TTCN3 es una mejora de TTCN2, el lenguaje usado en WCDMA, y que ahora tiene mucho más en común con un lenguaje de programación tradicional como C++. TTCN3 es por tanto más fácil de aprender, y, aparte de ser usado para tests de certificación, será posiblemente usado en áreas adyacentes de desarrollo.

Además de la certificación esencial de equipos de usuario conducidos por el GCF y PTCRB, los operadores de red también realizan certificaciones propias de altas especificaciones. Estos tests tienen más énfasis en las características de la infraestructura de red empleada y optimizada para los servicios de comunicaciones móviles ofrecidos.

### Un cambio de perspectiva: el eNodeB bajo test

El cambio hacia un desarrollo eficiente de estaciones base LTE representa un reto importante para los fabricantes de infraestructuras. Como regla ellos despliegan sistemas de test mucho antes del despliegue comercial de las redes. Es posible que estos sistemas deban correr en infraestructura de red al mismo tiempo que plataformas comerciales durante la fase de test. Esto es la razón por la que numerosas pruebas de campo de LTE se realizaron en 2009. Para deter-

minar que tests son necesarios durante el ciclo de desarrollo de las estaciones base, los fabricantes se basaron en la experiencia recogida durante muchos años de sistemas de comunicaciones móviles exitosas (GSM y WCDMA). La siguiente tabla muestra las medidas que se han realizado en transmisores y receptores:

Transmisor	Receptor
Potencia de salida y rango dinámico de la potencia de salida	Sensibilidad y rango dinámico de recepción
Calidad de la señal (errores de frecuencia, EVM, etc.)	Selectividad de canal
Emisiones no deseadas:	Inmunidad a interferencia con señales interferentes adyacentes en la banda de frecuencia (blocking)
Intermodulación de transmisor	Emisiones interferentes en el receptor
	Intermodulación en recepción
	Tests de rendimiento bajo varias condiciones de canal

Algunos aspectos técnicos de LTE son de especial importancia en el desarrollo de productos de infraestructura. MIMO requiere sistemas de antena extendidos en la estación base que tienen que ser verificados con la ayuda de analizadores de señal. Para medir una señal MIMO precodificada de dos antenas de transmisión, ambos streams de datos deben ser grabados al mismo tiempo. La tecnología LTE usa matrices de precodificación complejas en la rama de transmisión. Medir los parámetros de modulación, tal como EVM, por ejemplo, generalmente requiere información de ambas señales de transmisión. Esto necesita sistemas con equipos de test y medida modulares con dos analizadores conectados. Los valores medidos con el primer analizador de señal se transfieren al segundo en una estructura maestro-esclavo.

Además, LTE está basado en canales compartidos – los canales de frecuencia se comparten por múltiples dispositivos de usuario. Estos dispositivos pueden usar diferentes tasas binarias y, por tanto, diferentes tipos de modulación (QPSK, 16QAM o 64 QAM). Además, la señal de transmisión de una estación base consiste en ele-

mentos diferentes – datos de usuario, información de estimación de referencia y canal, y datos de señalización. Fig. 7 muestra un ejemplo de cómo esos elementos se combinan en una señal compuesta.

Es más, MIMO requiere un alineamiento del tiempo preciso para transmitir señales. Las especificaciones de test 3GPP por tanto incluyen ahora un test para asegurarse de que las señales de dos o más antenas en uso estén sincronizadas en el tiempo con una precisión de al menos 90 ns. Cuando este requerimiento se cumple, la señal MIMO de cada una de las antenas de la estación base se combina en RF y se aplica a la entrada de un analizador de señal.

En test de recepción, los usuarios necesitan aplicar señales LTE de acuerdo con el estándar, combinado con varios

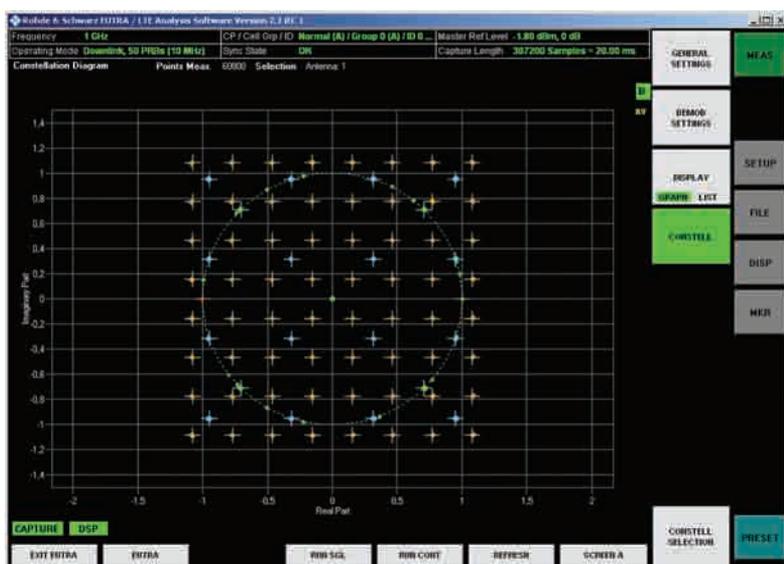


Figura 7. Diagrama de constelación de una señal eNodeB

modelos de propagación, al camino de recepción de la estación base. Como regla, se usan secuencias binarias pseudo aleatorias (PRBS) y cuyos contenidos se puedan reconstruir por la estación base si se conocen las longitudes. Con una simple comparación, las tasas de error binario se pueden obtener y esto permite verificar el rendimiento del receptor de la estación base en una amplia variedad de condiciones de propagación simuladas.

Debido a que la diversidad de escenarios de interferencias y condiciones de propagación se cubren en los tests de receptor, los generadores de señal deben ser capaces de generar señales de referencia. Puede ser muy ventajoso si el equipo puede combinar la flexibilidad de señal y si los canales de referencia y los modelos de canal de propagación especificados son implementados. Esto permite a los usuarios configurar diferentes escenarios rápida y flexiblemente, simplificando de forma importante la detección de errores.

En los últimos años, las cabezas remotas radio (RRH) se han convertido en una funcionalidad común en el diseño de estaciones base. En diseños de este tipo, los componentes RF y el amplificador de la estación base se colocan en la localización remota directamente en la antena. La ventaja de esto es que se evita la pérdida de línea en el cableado RF que conecta con la antena, incrementando así la potencia de salida disponible de la estación base. La señal banda base se manda al RRH a través de una conexión óptica. Dos diferentes interfaces digitales existen para las estaciones WCDMA – CPRI y OBSAI. Además de la modularidad incremental de los diseños, la estandarización de estos interfaces permite identificar más fácilmente los errores durante el ciclo de desarrollo. Esto permite combinar los módulos de los diferentes fabricantes. Es más, esta configuración permite que múltiples RRH se conecten a la banda base de una estación base, lo que puede ayudar a lograr una cobertura óptima en edificios, por ejemplo. Actualmente se está preparando un estándar uniforme para el interfaz LTE. El interfaz digital entre la banda base y RF requiere equipos de test y medida – en particular, generadores de señal y analizadores de señal – que soporten este formato. Esto significa que módulos diferentes – banda base o RF – pueden ser individualmente verificados. Como regla, un módulo con-

vertidor se usa para trasladar la interfaz digital banda base de los equipos de medida al formato estándar.

La rápida y flexible asignación de recursos se comentó al principio de este artículo. La estación base asigna a un dispositivo de usuario una cierta capacidad de canal (ancho de banda, tipo de modulación, etc.) basándose en varios parámetros, como la capacidad disponible de la célula. La estación base también confirma la recepción correcta de cada paquete – en otras palabras, le dice al dispositivo de usuario si tiene que retransmitir el paquete de datos o si puede proceder a transmitir un nuevo paquete. Para verificar la correcta operación de los mecanismos de control en la estación base durante el test de recepción, los generadores de señal deben emular la señal de los usuarios y proporcionar un método de interpretar la realimentación de la estación base. La realimentación se manda a una entrada distinta del generador de señal, y el generador de señal decide en tiempo real si pide una retransmisión del mismo paquete o la transmisión de un nuevo paquete.

### Resumen: los sistemas de medida necesitan añadir capacidades fáciles de usar para afrontar la complejidad creciente

A pesar de que LTE es más simple en muchas formas que su predecesor tecnológico WCDMA, los equipos de usuario LTE son más complejos en conjunto, debido a que incorporan procedimientos adicionales como MIMO, y esto incrementa la demanda de los sistemas de test y medida. Un número de los tipos de medida pueden ser adoptados del mundo de WCDMA, pero LTE necesita nuevas medidas y un nuevo rango amplio de parametrizaciones, tanto en el lado de RF como en el de protocolo. Para el test de estaciones base LTE, se usan conexiones expandidas, por ejemplo, para verificar los procedimientos de rápida realimentación son tan necesarios como generación de señal MIMO y análisis de señal, implementados usando un enfoque multicamino. Cuando se hace un test de traspaso con tecnologías previas, las plataformas multitecnología proporcionan grandes beneficios; con la vista en el futuro esto es una inversión lógica. 

## Nuestra portada

### Rápidos, precisos y fáciles de manejar: los nuevos osciloscopios de Rohde & Schwarz

Rohde & Schwarz presenta su nueva familia de osciloscopios R&S RTO.

Nuestros Ingenieros necesitaban un osciloscopio más rápido. Un equipo que mostrara 1 millón de formas de onda por segundo. Así que, hemos creado uno.



Capaces de analizar un millón de formas de onda por segundo, estos osciloscopios permiten ver en un instante hasta los fallos más remotos. Un ASIC especial consigue procesar en tiempo real los valores digitales de medida a una velocidad sin precedentes. Como consecuencia, los nuevos osciloscopios pueden analizar un millón de formas de ondas por segundo. Incluso con este alto índice de adquisición, todas las opciones de configuración y las funciones de análisis permanecen disponibles sin reducir la velocidad de medida.

Son los primeros osciloscopios en integrar un sistema de disparo (trigger) digital, lo que minimiza el jitter del trigger. Además, el trigger digital se rearma inmediatamente después de un evento de disparo. El típico retraso en el rearme del trigger analógico queda eliminado, permitiendo así detectar eventuales fallos de la señal.

Su interfaz de usuario, completamente nueva, proporciona una visión general perfecta, incluso en las medidas más complejas. Los osciloscopios de Rohde & Schwarz pueden ser operados a través de su pantalla táctil, lo que redefine el concepto de facilidad de manejo. Con ventanas de diálogo semitransparentes, ventanas móviles de medidas, barra de herramientas configurable e iconos de previsualización con formas de onda en directo, los usuarios pueden ejecutar hasta las tareas de medida más complejas de forma rápida y eficiente.

Los nuevos osciloscopios estarán inicialmente disponibles en los modelos de dos y cuatro canales con anchos de banda de 1 GHz y 2 GHz y una velocidad máxima de muestreo de 10 Gmuestras por segundo.

Pueden encontrar más información sobre los nuevos osciloscopios en [www.scope-of-the-art.com](http://www.scope-of-the-art.com)