

# MEDICIONES DE EMF EN 5G NR

Informe técnico | Versión 01.00 | Manuel Mielke

**ROHDE & SCHWARZ**

Make ideas real



# ÍNDICE

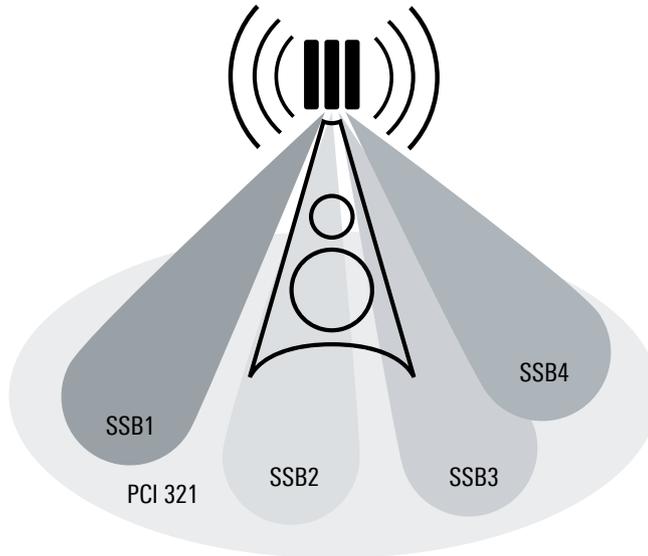
<b>1 Motivación e introducción</b> .....	3
1.1 Aspectos de la radiación electromagnética en 5G NR.....	3
1.2 Medidas para la contaminación electromagnética.....	4
<b>2 Estructura de la señal 5G NR: un enfoque completamente nuevo</b>	5
<b>3 Procedimientos de medición de EMF</b> .....	8
3.1 Frecuencia versus mediciones selectivas de código en 5G NR.....	8
3.2 Mediciones selectivas de código y factores de extrapolación.....	9
3.2.2 Factores de extrapolación para mediciones de EMF en 5G NR.....	9
<b>4 Mediciones de potencia radiada/emisión de potencia</b> .....	11
4.1 Medidas de emisión de corriente.....	11
4.2 Medidas de emisión máxima.....	11
<b>5 Información para pedidos</b> .....	14
<b>6 Abreviaturas/acrónimos/iniciales</b> .....	14

# 1 MOTIVATION AND INTRODUCTION

## 1.1 Aspectos de la radiación electromagnética en 5G NR

5G y las nuevas tecnologías asociadas, como la formación de haces y las frecuencias superiores a 3 GHz, han suscitado un gran número de debates entre la población. En 5G NR, la formación de haces se aplica a casi todas las señales, en particular a las señales relacionadas con el canal de datos (PDSCH, etc.) y las señales de sincronización (SSB).

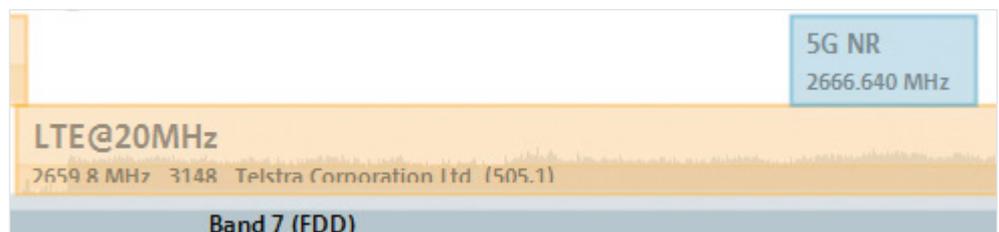
Fig.1: La celda 5G NR con PCI 321 está dividida en varias áreas de haz de sincronización (SSB)



El 3GPP definió nuevas bandas como n77 y n78 (3200 MHz a 4200 MHz) que plantean preocupaciones sobre la salud, en particular con respecto al aumento de la radiación electromagnética resultante de las frecuencias más altas combinadas con la formación de haces. En consecuencia, el despliegue de 5G se está desacelerando en varios países hasta que se demuestre que la radiación está por debajo de un cierto umbral específico para cada país.

Para continuar con el despliegue de la red, el uso compartido dinámico del espectro entre LTE y 5G NR en bandas de frecuencia ya utilizadas podría ser un buen compromiso para proporcionar 5G NR pero utilizar antenas existentes sin formación de haces. En el caso de la compartición de espectro dinámico, se omiten subtramas LTE específicas para permitir la inserción de componentes de señal 5G NR. Además, el uso compartido dinámico del espectro proporciona un espectro mucho menos utilizable. Debido a estos hechos, el uso compartido dinámico del espectro no es tan eficiente como una implementación de 5G NR basada en 3.5 GHz con arreglos de antenas de formación de haces en términos de los datos que se pueden lograr. Sin embargo, la potencia radiada también está aumentando y los operadores y los gobiernos deben asegurarse de que la potencia radiada total (y la contaminación electromagnética) esté por debajo de un cierto umbral.

Fig.2: Compartición dinámica del espectro, portadora superpuesta LTE y 5G NR en el dominio de la frecuencia



## 1.2 Medidas para la contaminación electromagnética

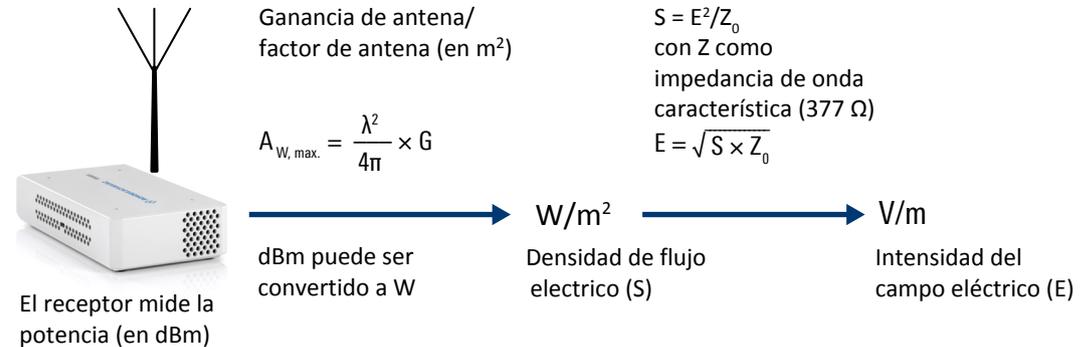
Mediciones que demuestran que la contaminación electromagnética está por debajo de un cierto umbral se denominan mediciones de campo electromagnético (CEM).

Hay dos medidas establecidas para las mediciones de EMF:

- ▶ Densidad de flujo eléctrico en  $W/m^2$
- ▶ Intensidad del campo eléctrico en  $V/m$

Ambas medidas se basan en medidas de potencia (en dBm). Aplicando el factor de antena (en dB /m) y/o la apertura de la antena (en  $m^2$ ), las medidas de potencia se pueden convertir en densidad de flujo eléctrico o intensidad de campo eléctrico.

Fig.3: Relación de potencia, densidad de flujo eléctrico (S) e intensidad de campo eléctrico (E)



La apertura de la antena se mide en  $m^2$ . Puede visualizarse como una superficie de antena en aumento con una ganancia de antena en aumento. Cuanto mayor sea la superficie de la antena, más energía electromagnética se capturará. Un receptor pasivo mide la potencia recibida en dBm según los valores RSRP específicos de la señal, que se pueden convertir fácilmente en W eliminando la escala logarítmica. La relación de ambos valores está en  $W/m^2$  y se denomina densidad de flujo eléctrico (S).

Siendo el aire el medio de propagación de las ondas electromagnéticas en este caso, la impedancia de onda característica correspondiente Z de  $377 \Omega$  se puede utilizar para convertir en intensidad de campo eléctrico en  $V/m$  mediante una operación de raíz cuadrada.

## 2 ESTRUCTURA DE SEÑAL 5G NR - UN ENFOQUE COMPLETAMENTE NUEVO

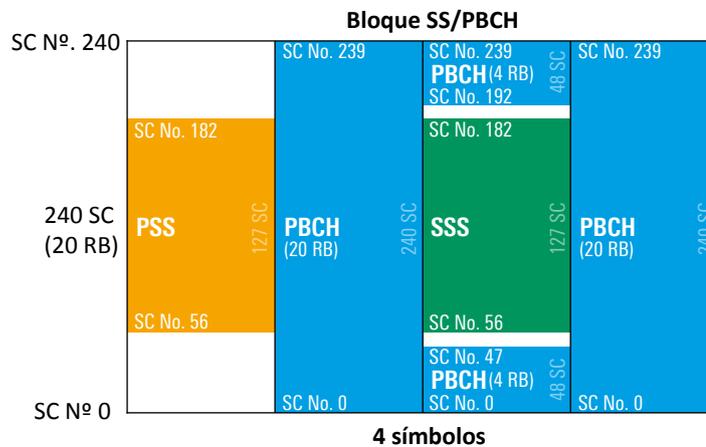
En tecnologías celulares anteriores (LTE, LTE-M, NB-IoT), se utilizaban señales de referencia y sincronización específicas de celda. Las señales de referencia siempre activas se distribuyeron por todo el espectro para una estimación precisa del canal.

5G NR es un enfoque completamente nuevo con respecto a señales específicas de células. 5G NR solo emite una cantidad mínima de señales específicas de celda con una secuencia conocida que puede medirse con un receptor de medición calibrado. Todas las demás señales son específicas de la UE; su aparición en el dominio de la frecuencia y el tiempo está relacionada con el tráfico de datos.

La única señal siempre activa es el bloque de señal de sincronización (SSB). Como se muestra en la Fig. 4, cada SSB ocupa 240 subportadoras (dominio de frecuencia) y 4 símbolos (dominio de tiempo). Contiene señales de sincronización primaria y secundaria (PSS y SSS) y el canal de transmisión físico (PBCH).

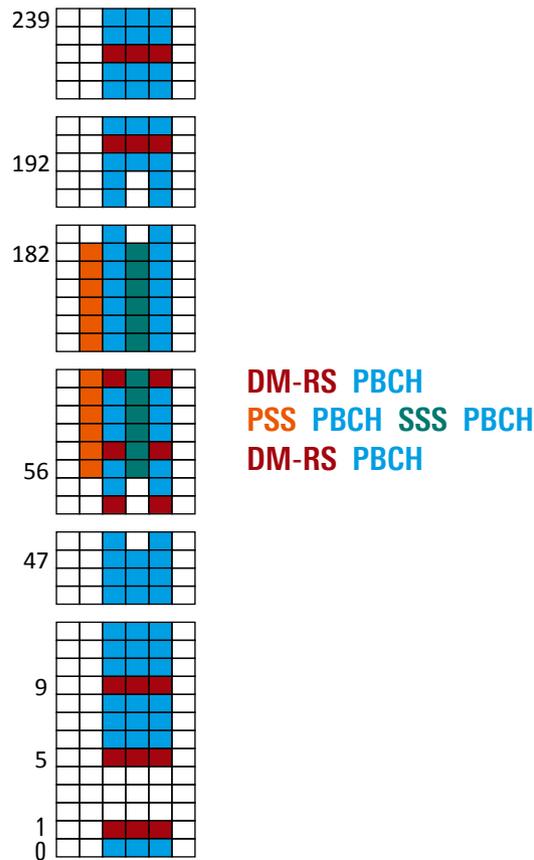
Como en LTE, el PSS y SSS en 5G NR representan la identidad física de la celda (PCI), y el PBCH lleva el bloque de información maestro (MIB) más algunos bits de carga adicional.

**Fig.4: Bloque de señal de sincronización 5G NR**



Si hacemos zoom en las subportadoras (Fig. 5), también vemos señales de referencia de demodulación (DM-RS). Los DM-RS son utilizados por la UE para la estimación de canal para demodular el PBCH. Las posiciones de las señales DM-RS a través del PBCH las determina el PCI.

**Fig.5: Bloque de señal de sincronización 5G NR con factor de zoom aumentado**



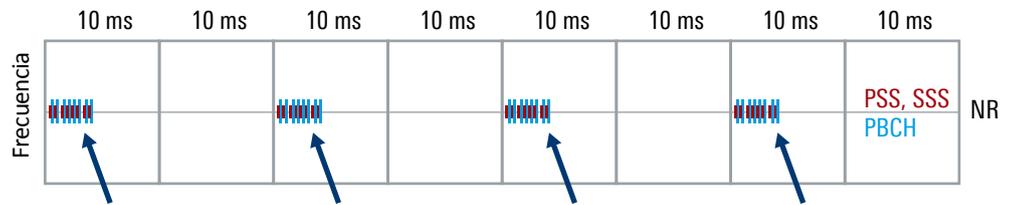
Los SSB se transmiten periódicamente desde cada celda. El 3GPP ha definido cinco patrones de transmisión: del caso A al caso E. El rango de frecuencia, el número máximo de transmisiones SSB, el espaciado de subportadoras y los símbolos OFDM de inicio definen los casos.

Los SSB se organizan en conjuntos de ráfagas, con un conjunto de ráfagas que consta de uno o más SSB.

$L_{max}$  indica el número máximo de SSB que se pueden configurar para los diferentes casos. Para frecuencias más altas, el número es significativamente mayor ( $L_{max} = 64$ ) que para el rango de frecuencia por debajo de 1 GHz ( $L_{max} = 4$ ), lo que refleja la necesidad de más y más pequeños haces en el espectro de ondas de cm/mm. Cada SSB tiene un índice con un número creciente de 0 a  $L_{max} - 1$ .

La periodicidad (la Fig. 6 muestra 20 ms) puede variar entre 5 ms y 160 ms (5, 10, 20, 40, 80, 160 ms). El estándar 3GPP recomienda utilizar una periodicidad de 20 ms para los SSB que definen las celdas. Las periodicidades más altas, como 80 ms o 160 ms, se utilizan preferiblemente para SSB en redes mmWave con el fin de permitir más tiempo para la transmisión de un mayor número de SSB en los casos D y E.

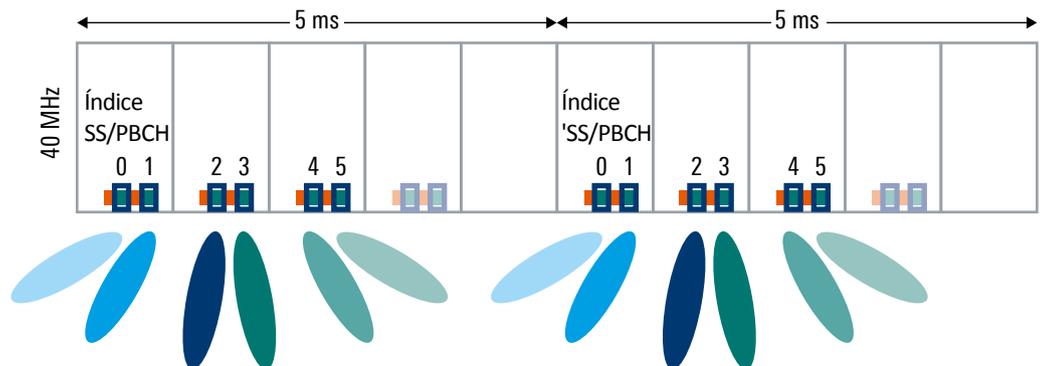
**Fig.6: Bloques de señales de sincronización emitidos periódicamente**



Como se explica en la sección 1, la formación de haces es un método esencial para superar la creciente pérdida de trayectoria cuando se utilizan frecuencias más altas. Esto también se utiliza para las SSB que pueden formarse de haz individualmente y cubrir preferentemente una determinada zona geográfica.

En el siguiente ejemplo (Fig. 7), una celda está transmitiendo seis SSB ( $L = 6$ ), lo que significa que el SSB se transmite seis veces, cada vez con un valor diferente del índice SSB. Si la formación de haces SSB está habilitada, cada SSB se transmite en diferentes haces espaciales (aquí codificados por colores).

**Fig.7: Ejemplo de transmisiones SSB**



# 3 PROCEDIMIENTOS DE MEDICIÓN DE EMF

## 3.1 Frecuencia versus mediciones selectivas de código en 5G NR

Para las mediciones de EMF se utilizan dos métodos de medición fundamentalmente diferentes con varias ventajas y desventajas. El procedimiento que se aplica depende de las regulaciones específicas del país, que en la mayoría de los casos son definidas por institutos federales u organizaciones similares.

Los procedimientos de medición selectiva en frecuencia se basan exclusivamente en mediciones del espectro de potencia. A diferencia del procedimiento de selección de código, las señales recibidas no se decodifican ni se asignan a ninguna tecnología, operador o celda, y se tienen en cuenta la potencia y la interferencia específicas de la señal. Este método es definitivamente el más cercano en términos de determinar la potencia total recibida en una ubicación determinada, pero hay algunos argumentos prácticos que hacen que el método sea menos atractivo que las mediciones selectivas de código.

- ▶ El espectro de potencia de las portadoras de banda ancha suele cambiar muy rápido con el tiempo. Es posible trabajar con envolventes en el espectro de potencia, pero usar una antena isotrópica (como se requiere en algunos países) es difícil. Una antena isotrópica es capaz de capturar la energía de forma omnidireccional y de todas las polarizaciones. Puede ser controlado, por ejemplo, por un PC, que envía los comandos para cambiar la polarización medida exactamente en el momento adecuado. La antena isotrópica tiene una cierta histéresis para cambiar la polarización. Durante este tiempo, el espectro de potencia puede cambiar fácilmente en 5 dB o 10 dB dependiendo de la carga de la celda y otros factores.
- ▶ Otra razón son los propios receptores de medición. La mayoría de ellos solo pueden capturar simultáneamente un espectro de máx. 20 MHz o 40 MHz. Si se solicita más espectro, deben volver a sintonizar la interfaz y repetir la medición del espectro de potencia mientras el espectro de potencia cambia continuamente debido al tráfico, desvanecimiento, etc. Por lo tanto, el espectro de potencia nunca se captura simultáneamente y no se puede encontrar un máximo único del espectro de potencia recibido.
- ▶ Cuando se realiza una medición selectiva de código, la antena normalmente se gira para determinar la potencia máxima recibida dentro de un área o habitación determinada. Los receptores de medición de código selectivo normalmente pueden detectar automáticamente la frecuencia central de la portadora. Miden señales definidas y pueden distinguir entre la señal en sí y el ruido. Ofrecen un único valor de medición (por Ej.: SS-RSRP) ya sea por PCI o SSB, que es más constante y mucho más fácil de manejar cuando se busca el máximo. También es posible ver los operadores, PCI y SSB que contribuyen a la potencia/intensidad de campo total recibida.

Como se explica en la sección 2, 5G NR solo proporciona un mínimo de señales específicas de celda (SSB). Se ignora una parte significativa del espectro, ya que solo pueden aparecer señales específicas de UE en las otras partes del espectro. Para proyectar la potencia SSB sobre la potencia máxima radiada, se necesitan varios factores de extrapolación, que se describen en el apartado 3.2.

## 3.2 Mediciones selectivas de código y factores de extrapolación

### 3.2.1 Historial de mediciones de EMF - LTE

En el caso de los servicios inalámbricos, las mediciones selectivas de frecuencia a menudo tienen que combinarse con métodos de medición especializados para varios servicios de radio (en particular para WCDMA y LTE) según las regulaciones específicas del país. Estos métodos permiten una extrapolación exacta a la utilización máxima del sistema y la asignación de las emisiones a la estación base apropiada.

Consulte el folleto del producto R&S®TS-EMF (PD 0758.2777.12) y

[www.rohde-schwarz.com/product/ts-emf](http://www.rohde-schwarz.com/product/ts-emf).

Para estas mediciones de EMF selectivas de código en LTE, el receptor de medición mide en señales de referencia y sincronización específicas de celda, decodifica el PCI y, opcionalmente, el operador y otros mensajes de capa 3. En este caso, la potencia recibida se puede asignar claramente a una determinada celda, portadora y banda. Las señales de sincronización y de referencia también son una muy buena aproximación de la potencia máxima recibida/radiada, ya que se extienden por todo el espectro y no se potencian (al menos en los modos de transmisión más bajos).

Cuando se trata de modos de transmisión más altos en LTE, la formación de haces se aplica en señales específicas de UE cuya compensación de potencia a las señales de referencia estándar y la ubicación en el dominio de tiempo y frecuencia es desconocida para un receptor pasivo calibrado. En este caso, se aplican factores de extrapolación para proyectar la potencia radiada total, asumiendo normalmente el peor caso de aumento de potencia de las señales específicas del UE.

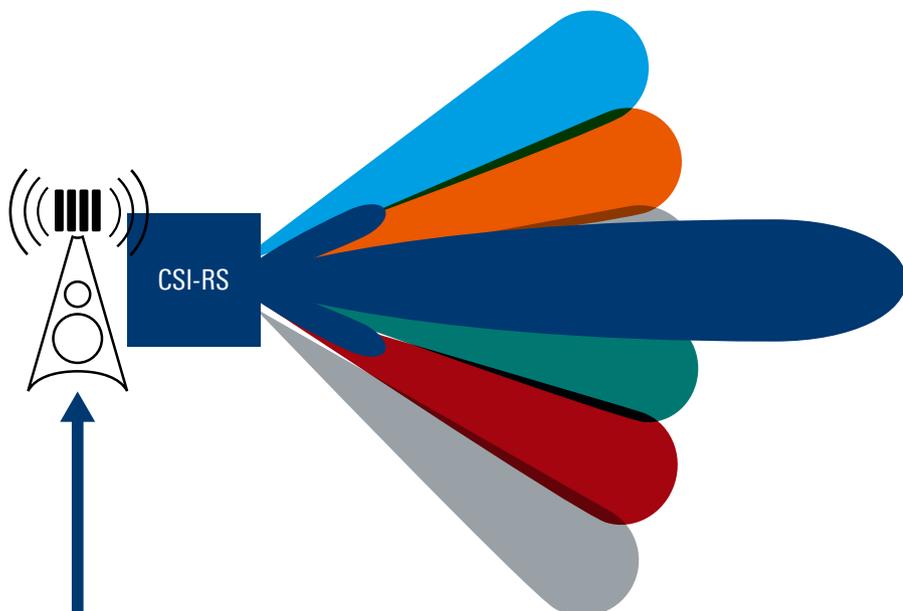
### 3.2.2 Factores de extrapolación para mediciones de EMF en 5G NR

Con un mínimo de señales específicas de celda transmitidas y mensajes de capa 3, se deben aplicar factores similares para obtener mediciones confiables de EMF 5G NR. Los factores de extrapolación fundamentales son:

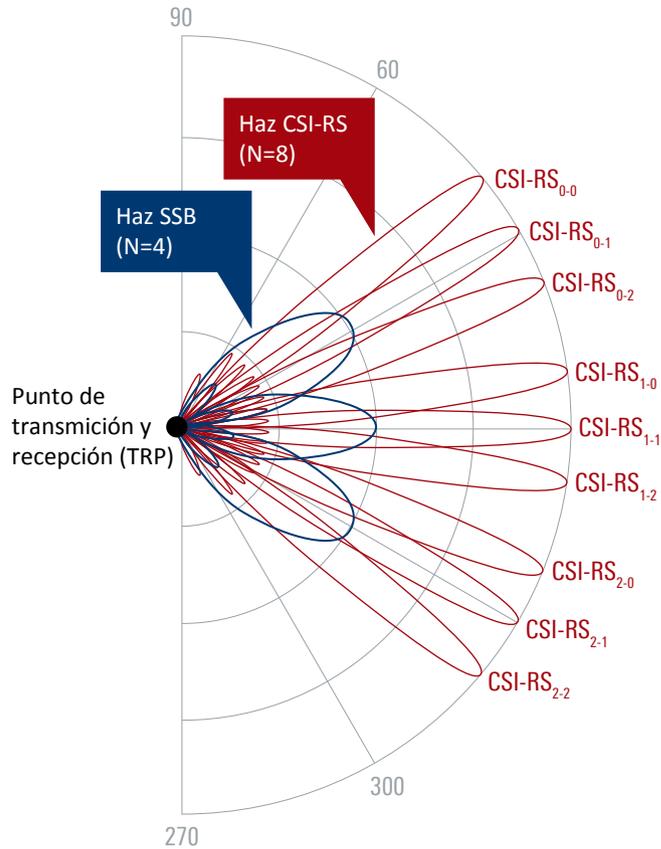
#### ► Desviación de haz/ganancia entre SSB y haces de datos

Se espera que los haces específicos de datos/UE tengan un ancho de haz mucho menor y/o más potencia que los haces SSB para aumentar aún más la SINR. Los datos correspondientes deben solicitarse a los operadores de red o proveedores de infraestructura.

**Fig.8: El componente de señal específico de la UE (CSI-RS) se transmite con mayor potencia en comparación con los haces SSB**



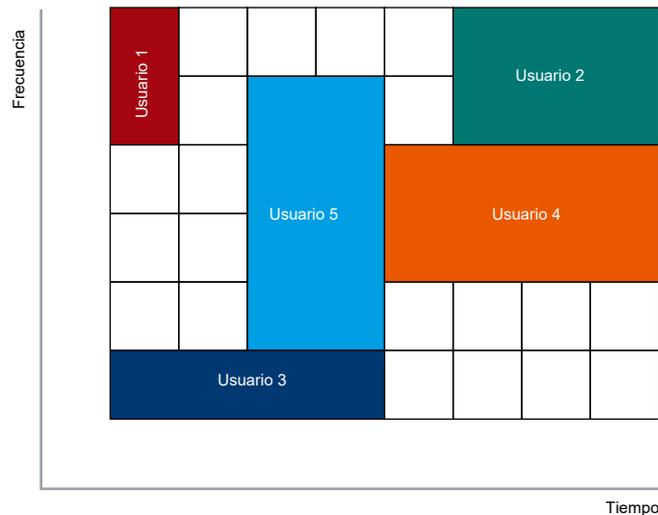
**Fig. 9: El componente de señal específico de la UE (CSI-RS) se transmite utilizando haces extremadamente estrechos en comparación con los haces SSB**



► **Factor de relación de enlace ascendente y descendente**

En el caso de TDD, la relación entre el enlace ascendente y el enlace descendente afecta significativamente la potencia radiada por el gNodoB. En el caso de que se reserven más ranuras para el enlace ascendente, la potencia radiada disminuye. El factor de relación depende de la configuración de la red que se deba solicitar a los operadores de red. Una excepción son las redes NSA, donde el operador 5G NR se utiliza solo para enlace descendente.

**Fig. 10: Flexible scheduling of user data (uplink and downlink) across the frequency and time domain**



► **Proyección de la potencia del bloque de señal de sincronización en el espectro total de la portadora 5G NR**

Los bloques de señales de sincronización solo tienen un ancho de banda de 3.6 MHz a 56 MHz, dependiendo del espaciado de la subportadora. El ancho de banda total de la portadora 5G NR puede ser de hasta 400 MHz.

Esto requiere otro factor de extrapolación, que puede solicitarse a los operadores o determinarse mediante un teléfono móvil con suscripción activa para la red 5G NR particular.

## 4 MEDICIONES DE POTENCIA RADIADA/EMISIÓN DE POTENCIA

### 4.1 Medidas de emisión de corriente

Las mediciones de emisión de corriente se basan típicamente en mediciones selectivas de frecuencia. Se realizan mediante analizadores de espectro.

El objetivo es medir la emisión y promediarla durante un período de seis minutos (según las regulaciones específicas del país), teniendo en cuenta factores dependientes del tiempo, como la carga de la celda.

### 4.2 Medidas de emisión máxima

Se espera que las mediciones selectivas de código sean el método preferido para las mediciones de emisiones máximas en Europa. Al medir y posteriormente calcular la radiación máxima, se deben considerar los escenarios del peor de los casos al definir los factores de extrapolación.

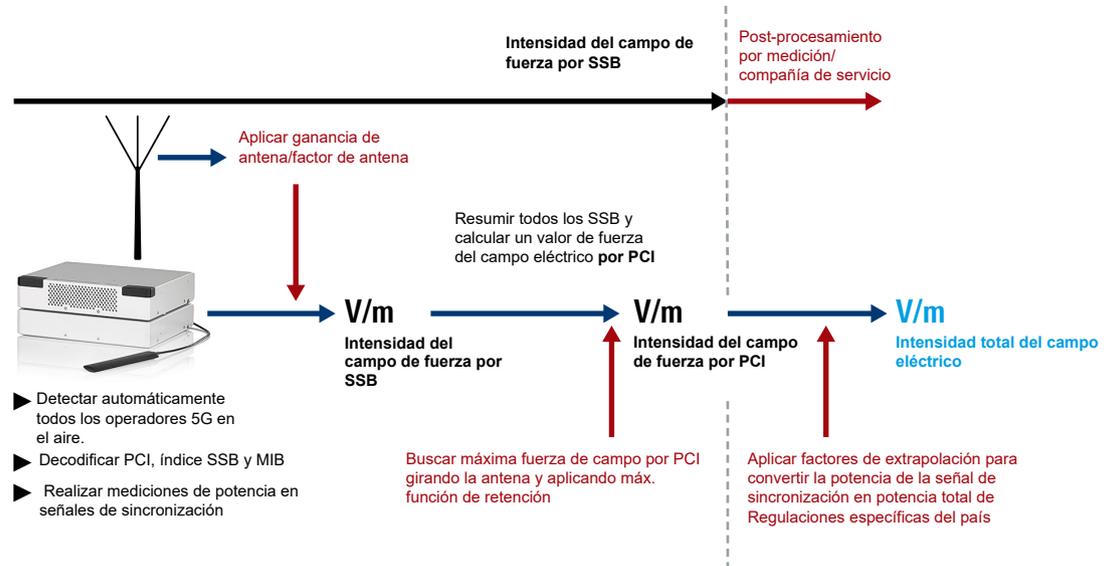
Los factores de extrapolación, como las compensaciones de ganancia y los factores de relación de enlace ascendente/enlace descendente, son específicos de la celda, lo que requiere que el sistema de medición genere valores de EMF específicos de PCI en mV/m, que son la línea base para aplicar los factores de extrapolación en una rutina de procesamiento.

El escáner de red autónomo R&S®TSMA6 es un ejemplo de un sistema de medición que es capaz de realizar mediciones de emisión máxima selectivas por código en 5G NR. Es capaz de detectar automáticamente portadoras 5G NR, decodificar y medir en SSB y PCI. Al aplicar el factor de antena (debe proporcionarlo un archivo .csv) y sumar todos los SSB por PCI, se obtiene un resultado único en mV/m por PCI.

En teoría, se puede utilizar cualquier antena con suficiente ganancia en dBi o factor de antena en datos dB/m. Ambas dimensiones se pueden importar al software de medición que se describe a continuación.

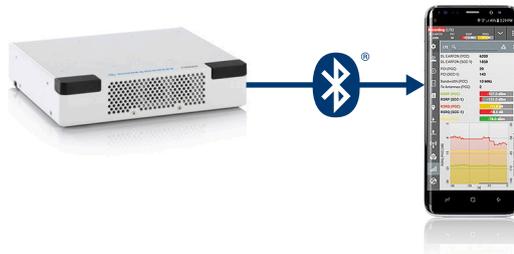
Como se mencionó anteriormente, las mediciones de emisión máxima están considerando el escenario del peor de los casos, que requiere buscar el valor máximo de EMF en un área determinada girando la antena.

**Fig.11: Procedimiento típico de medición de EMF para mediciones de emisión máxima selectivas de código en 5G NR**



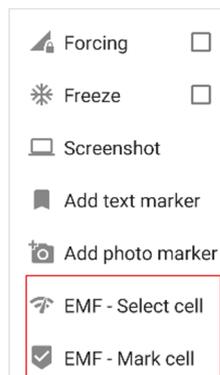
El software compatible con las mediciones de EMF es QualiPoc Android y el teléfono inteligente o la tableta se conecta al receptor de medición R&S®TSMA6 a través de Bluetooth®. El software captura el valor RSRP específico del código del receptor y realiza todas las operaciones matemáticas para convertir dBm en V/m. Emite directamente valores de potencia o intensidad de campo eléctrico.

**Fig.12: R&S®TSMA6 y smartphone Android conectados a través de Bluetooth®**

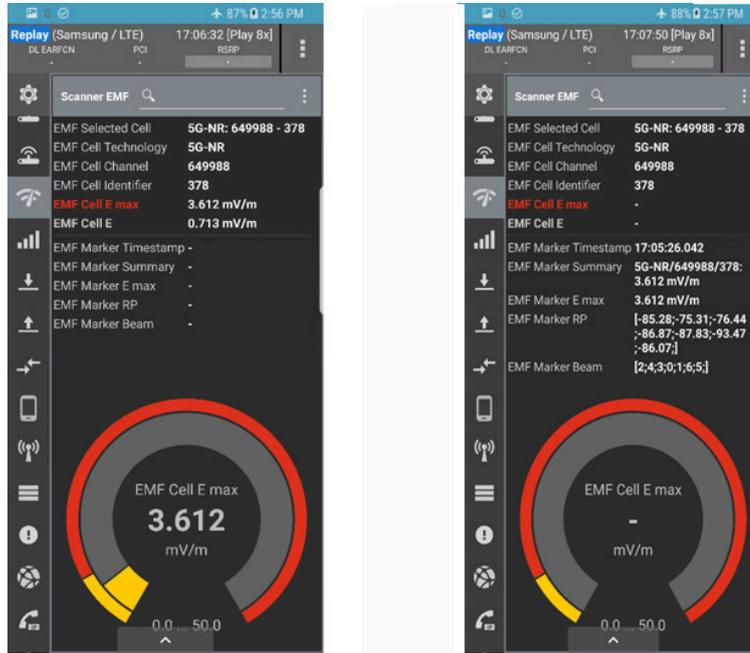


El software cuenta con una interfaz gráfica de usuario específica de EMF y funciones específicas de medición de EMF para ayudar al usuario a encontrar la intensidad máxima del campo eléctrico al proporcionar una función de retención máx. (seleccionando y marcando una celda).

**Fig. 13: “Seleccionar celda” y “Marcar celda” ayudan al usuario a encontrar la máxima intensidad de campo (función de retención máxima)**



**Fig.14: Capturas de pantalla de QualiPoc al buscar la máxima intensidad del campo eléctrico en mV/m (izquierda) y marcar la celda después de encontrar el máximo (derecha)**



En la práctica, el usuario selecciona una determinada celda (basada en PCI), hace pivotar la antena para encontrar la máxima intensidad del campo eléctrico (Fig. 14, izquierda) en un área determinada y luego marca la celda. Marcar la celda (Fig.14, derecha) proporciona un resumen de medición específico de PCI y agrega los datos de medición específicos de EMF a un archivo .csv que se puede exportar para un procesamiento posterior (por ejemplo, aplicando factores de extrapolación o agregando valores de intensidad de campo de otras tecnologías).

Los valores de medición de EMF en tiempo real también están disponibles como se muestra en la captura de pantalla a continuación.

**Fig.15: Valores de medición de EMF en tiempo real basados en PCI y SSB en mV/m**



## 5 INFORMACIÓN PARA PEDIDOS

Designación	Tipo	Nº del pedido
Escáner de red móvil autónomo	R&S®TSMA6	4900.8005.02
Paquete de baterías, incluye dos baterías (R & S®MNT-BP89WH)	R&S®TSMA6-BP	4900.9001.02
Bolsa de transporte	R&S®TSMA6-ZCB2	3630.7695.02
Suministro de energía AC	R&S®TSMA6-Z1	4901.0550.02
Escaneo 5G NR	R&S®TSMA6-K50	4901.0966.02
Medición simultánea en todas las bandas	R&S®TSMA6-KAB	4901.0708.02
Licencia de escáner QualiPoc	R&S®QP-SCANNER	1900.5794.04
Software QualiPoc Android para optimización de RF	R&S®DV-RF	1900.3033.02
Opción QualiPoc para mediciones de EMF	R&S®QP-EMF	1900.5959.06
Antena de banda ultraancha de un solo puerto, 698 MHz a 3800 MHz, con montaje magnético	R&S®TSME-Z15	3652.7281.02
Módulo de antena log-periódico, 450 MHz a 8 GHz	R&S®HE400LP	4104.8402.02
Antena direccional portátil básica (asa de antena)	R&S®HE400BC	4104.6000.04
Cable adaptador N a SMA	R&S®TSMA6-ZHE4	4900.9660.02

## 6 ABREVIATURAS/ACRÓNIMOS/INICIALES

Abreviatura	Descripción
CSI-RS	señales de referencia de información de estado de canal
DM-RS	señales de referencia de demodulación
EMF	campo electromagnético
MIB	bloque de información maestro
NR	nuevo radio
OFDM	múltiplex por división de frecuencia ortogonal
PBCH	canal de transmisión físico
PCI	identidad celular física
PDSCH	canal físico compartido de enlace descendente
PSS	señales de sincronización primaria
RB	bloque de recursos
SSB	bloque de señal de sincronización
SSS	señales de sincronización secundarias
SS-RSRP	sincronización secundaria (señal) señal de referencia potencia
TRP	recibida punto de transmisión y recepción
UE	equipo de usuario/entidad de usuario



## **Rohde & Schwarz**

El grupo de productos electrónicos Rohde & Schwarz ofrece soluciones innovadoras en los siguientes campos comerciales: prueba y medición, transmisión y medios, comunicaciones seguras, ciberseguridad, seguimiento y pruebas de red. Fundada hace más de 80 años, la empresa independiente tiene su sede en Munich, Alemania, cuenta con una extensa red de ventas y servicio con ubicaciones en más de 70 países.

[www.rohde-schwarz.com](http://www.rohde-schwarz.com)

## **Atención al cliente de Rohde & Schwarz**

[www.rohde-schwarz.com/support](http://www.rohde-schwarz.com/support)

