

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE  
TELECOMUNICACIÓN  
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA



Trabajo Fin de Grado

**Implementación de un sistema de radiocomunicaciones para la transmisión de la telemetría de una moto de carreras**



AUTOR: María Belén Pérez Muñoz  
DIRECTOR: José María Molina Pardo-García  
Septiembre 2014



<b>Autor</b>	María Belén Pérez Muñoz
<b>E-mail del autor</b>	mariabelen.pm@hotmail.com
<b>Director</b>	José María Molina Garcia-Pardo
<b>E-mail del director</b>	Josemaria.molina@upct.es
<b>Título del TFG</b>	Implementación de un sistema de radiocomunicaciones para la transmisión de la telemetría de una moto de carreras
<b>Resumen</b>	<p>Motostudent es una competición entre universidades españolas y europeas, que plantea el desafío de diseñar y desarrollar un prototipo de moto de competición de 125 centímetros cúbicos y 2 tiempos.</p> <p>De manera que este proyecto se enmarca dentro de un trabajo multidisciplinar que comprende distintas tareas relacionadas con la elaboración de un sistema de telemetría de una moto de competición. Aunque, la memoria de este trabajo se centra, en particular, en la configuración del sistema de transmisión de datos.</p> <p>Para optimizar la configuración y las prestaciones de la moto, es necesario recopilar la mayor cantidad posible de información, a partir de parámetros como la temperatura del motor, la posición, la velocidad, la aceleración de la moto, etc.</p> <p>Para ello, vamos a diseñar un sistema de transmisión de datos bidireccional para que los datos generados por los sensores que se han distribuido por la moto, sean transmitidos inmediatamente después de ser registrados, y se pueda monitorizar el estado de la moto en cada uno de los tramos del circuito en tiempo real.</p> <p>El sistema se basa en el instrumento “R&amp;S CMW500” de Rohde&amp;Schwarz, que actuará como una estación base de GSM para dar cobertura a todo el circuito, y así la comunicación sea independiente a cualquier operador. Así mismo, la transferencia de paquetes se realizará sobre el protocolo UDP/IP para que sea lo más rápida posible, y sin interrupciones.</p>
<b>Titulación</b>	Grado en Ingeniería en Sistemas de Telecomunicación
<b>Intensificación</b>	Sistemas y Redes de Telecomunicación
<b>Departamento</b>	Tecnologías de la Información y las Comunicaciones
<b>Fecha de presentación</b>	Septiembre de 2014



## Índice general

1. Introducción.....	8
1.1. Motivación.....	8
1.2. Objetivos.....	9
1.2.1. Objetivo general.....	9
1.2.2. Objetivos específicos.....	10
1.3. R&S CMW500.....	10
1.3.1. Funcionamiento de R&S CMW500 según el tipo de aplicación.....	10
1.4. Estructura de la memoria.....	11
2. Estado del arte de telemetría.....	12
2.1. Introducción a la telemetría.....	12
2.2. Origen y evolución de la telemetría.....	12
2.3. Aplicaciones actuales de la telemetría.....	14
2.3.1. Competición: Fórmula 1 y Moto GP.....	14
2.3.2. Domótica.....	17
2.3.3. Robótica.....	17
2.3.4. Medicina.....	18
2.4. Líneas de investigación en la telemetría.....	18
2.4.1. Láser de estado sólido de pulsos cortos para telemetría.....	19
2.4.2. Control de vehículos aéreos no tripulados.....	19
2.4.3. Integración de la monitorización y control eficiente en tiempo real de redes de agua potable.....	20
2.4.4. Metodologías para la colecta de muestras en fauna silvestre in situ.....	20
2.5.5. Alerta de desborde de ríos y consulta de parámetros de humedad y temperatura vía SMS.....	20
2.4.6. Medición de profundidad de ríos y lagos.....	21
3. Sistemas de comunicaciones móviles.....	22
3.1. Evolución de los sistemas de comunicaciones móviles.....	22
3.2. Estándar de comunicaciones móviles.....	24
3.2.1. Sistemas de comunicaciones móviles 2G.....	24
3.2.2. Sistemas de comunicaciones móviles 2.5G.....	25
3.2.3. Sistemas de comunicaciones móviles 3G.....	28
3.2.4. Sistemas de comunicaciones móviles 4G.....	29
3.2.5. Comparativa.....	31
4. Entorno de trabajo.....	32
4.1. Escenario de la aplicación.....	32
4.2. Instrumento de radiocomunicaciones Rohde & Schwarz CMW500.....	34
5. Herramientas software del R&S CMW500.....	35
5.1. Entorno software.....	35
5.1.1. R&S CMW500 como analizador.....	36
5.1.2. R&S CMW500 para aplicaciones de radiofrecuencia.....	37
5.1.3. Parámetros característicos.....	38
5.1.4. DAU (Data Application Unit).....	40
6. Establecimiento de una comunicación inalámbrica mediante el R&S CMW500.....	45
6.1. Ejemplo de una comunicación inalámbrica GSM.....	45
6.1.1. Configuración de la comunicación inalámbrica GSM.....	45
6.1.2. Establecimiento de la comunicación inalámbrica GSM.....	50



6.2. Ejemplo de una comunicación inalámbrica UMTS.....	51
6.2.1. Configuración de la comunicación inalámbrica UMTS.....	51
6.2.2. Establecimiento de la comunicación inalámbrica UMTS.....	56
6.3. Resultado de la comunicación inalámbrica.....	57
6.3.1. Transferencia de paquetes a través de GSM.....	57
6.3.2. Transferencia de paquetes a través de UMTS.....	60
7. Conclusiones.....	62
7.1. Resumen.....	62
7.2. Conclusiones.....	62
7.3. Líneas futuras.....	63
Bibliografía.....	64
Anexo A.....	66
A.1. Material empleado y justificación.....	66
A.1.1. Instrumento de radiocomunicaciones Rohde&Swarch CMW500.....	66
A.1.2. Antena SBA 9113.....	74
A.1.3. USB Qualcomm 3G CDMA.....	75
A.1.4. Tarjeta Mini-UICC R&S CMW-Z04.....	75
A.1.5. Cables.....	75
A.2. Guía del programa.....	75
A.2.1. Puesta en marcha del instrumento R&S CMW500.....	75
A.2.2. Descripción y funcionamiento de las diferentes partes del programa.....	76
A.2.3. Metodología para realizar una medida.....	82
A.2.4. Metodología para generar una señal.....	92
A.2.5. Metodología para generar una célula móvil.....	96



## Índice de figuras

Figura 1.1 Segunda posición del equipo de Moto-UPCT en Cheste.....	9
Figura 2.1. Regulador Watt [8].....	13
Figura 2.2. Circuito de vía [10].....	13
Figura 2.3. Antena de telemetría de un monoplaza [12].....	15
Figura 2.4. Centralita de datos de un monoplaza [13].....	15
Figura 2.5. Esquema completo de un monoplaza [12].....	16
Figura 2.6. Ejemplo de telemetría en MotoGP [14].....	17
Figura 2.7. Electrocardiograma obtenido por telemetría [17].....	18
Figura 2.8. Telemetría láser [19].....	19
Figura 3.1. Evolución de la red celular [21].....	22
Figura 3.2. Arquitectura GPRS [24].....	26
Figura 3.3. Ejemplo de encaminamiento de paquetes [23].....	28
Figura 3.4. Arquitectura UMTS [25].....	29
Figura 3.5. Arquitectura LTE [27].....	31
Figura 4.1. a) Comunicación inalámbrica a través de la red pública de Internet.....	32
Figura 4.1. b) Comunicación inalámbrica a través de la red privada del R&S CMW500.....	33
Figura 4.2. Rohde & Schwarz CMW500.....	34
Figura 5.1. Primera pantalla del programa.....	35
Figura 5.2. R&S CMW500 como analizador.....	37
Figura 5.3. R&S CMW500 como generador/estación base.....	38
Figura 5.4. Acceso al diálogo de configuración de la DAU.....	41
Figura 5.5. Configuración IP automática.....	41
Figura 5.6. Configuración IP por protocolo DHCP.....	42
Figura 5.7. Ejemplo de configuración automática.....	43
Figura 5.8. Ejemplo de configuración por protocolo DHCP.....	44
Figura 6.1. Parámetros específicos de una comunicación GSM.....	46
Figura 6.2. Configuración del servicio PS.....	47
Figura 6.3. Configuración de los parámetros de RF.....	48
Figura 6.4. a) Aplicación GSM Signaling desactivada.....	49
Figura 6.4. b) Aplicación GSM Signaling activada.....	50
Figura 6.5. Ejemplo de estación base de GSM en funcionamiento.....	50
Figura 6.6. Ejemplo de un dispositivo móvil unido a la red GSM.....	51
Figura 6.7. Ejemplo de establecimiento de una comunicación inalámbrica a través de GSM.....	51
Figura 6.8. Parámetros específicos de una comunicación UMTS.....	53
Figura 6.9. Determinación del escenario de pruebas.....	54
Figura 6.10. Configuración de los parámetros de RF.....	55
Figura 6.11. a) Aplicación WCDMA-UE Signaling desactivada.....	56
Figura 6.11. b) Aplicación WCDMA-UE Signaling activada.....	57
Figura 6.12. Ejemplo de estación base de GSM en funcionamiento.....	57
Figura 6.13. Ejemplo de un dispositivo móvil unido a la red.....	58
Figura 6.14. Ejemplo de establecimiento de una comunicación inalámbrica a través de UMTS.....	58
Figura 6.15. Transferencia de datos en sentido ascendente entre el enlace intermedio por GSM.....	59
Figura 6.16. Resultado de acceso al servicio interno HTTP por GSM.....	60
Figura 6.17. Transferencia de paquetes en sentido ascendente entre el servidor por GSM.....	60
Figura 6.18. Picos de conexión durante la comunicación GSM con el R&S CMW500.....	61
Figura 6.19. Transferencia de datos en sentido ascendente entre el enlace intermedio por UMTS.....	61



Figura 6.20. Transferencia de datos en sentido ascendente entre el servidor por UMTS.....	62
Figura 6.21. Picos de conexión durante la comunicación UMTS con el R&S CMW500.....	62
Figura A.1. Rohde & Schwarz CMW500.....	68
Figura A.2. Nivel de señal recibida en el R&S CMW500 insuficiente.....	69
Figura A.3. Nivel de señal recibida en el R&S CMW500 suficiente.....	69
Figura A.4. Conector RF de entrada y salida.....	71
Figura A.5. Antena SBA 9113.....	75
Figura A.6. Primera pantalla del programa.....	77
Figura A.7. R&S CMW500 como analizador.....	78
Figura A.8. Ejemplo de selección de “GPRF Measurements 1”.....	79
Figura A.9. R&S CMW500 como generador/estación base.....	80
Figura A.10. Ejemplo de selección de “GPRF Generator 1”.....	81
Figura A.11. Interfaz gráfica de la opción “GPRF Measurements 1”.....	83
Figura A.12. a) Interfaz gráfica de la opción “GSM RX Measurement”.....	84
Figura A.12. b) Interfaz gráfica de la opción “GSM Multi Evaluation”.....	85
Figura A.13. Interfaz gráfica de la opción “LTE Extended BLER”.....	86
Figura A.14. a) Interfaz gráfica de la opción “WCDMA RX Measurement”.....	87
Figura A.14. b) Interfaz gráfica de la opción “WCDMA TX Measurement”.....	88
Figura A.15. Interfaz gráfica de la opción “WIMAX PER”.....	89
Figura A.16. Interfaz gráfica de la opción “WLAN PER”.....	90
Figura A.17. a) Ejemplo de activación de la aplicación “WIMAX PER”.....	91
Figura A.17. b) Ejemplo de activación de la aplicación “WIMAX PER”.....	91
Figura A.17. c) Ejemplo de activación de la aplicación “WIMAX PER”.....	92
Figura A.18. Opción “GPRF Generator 1”.....	93
Figura A.19. Interfaz gráfica de “GPRF Generator 1”.....	94
Figura A.20. a) Aplicación “GPRF Generator 1” desactivada.....	95
Figura A.20. b) Aplicación “GPRF Generator 1” activada.....	96
Figura A.21. Diálogo de configuración del sistema.....	98
Figura A.22. Diálogo de configuración del componente DAU.....	99
Figura A.23. Diálogo de configuración IP del componente DAU.....	100



## Agradecimientos

Agradezco la paciencia de mis compañeros de laboratorio y del equipo de soporte de Rohde & Schwarz ante las dificultades que aparecieron durante la puesta en marcha del R&S CMW500. Además de la confianza que mi familia siempre a puesto en mi, el apoyo de mis amigos que siempre han estado ahí y los consejos de mi pareja que tanto me han ayudado. Por último, y no menos importante, también agradezco la ayuda de mi tutor José María.

María Belén Pérez Muñoz



---

# CAPÍTULO 1

---

## Introducción

### 1.1. Motivación

La competición MotoStudent [1], promovida por la fundación Moto Engineering Fundation, plantea el desafío entre distintas universidades de diseñar y desarrollar un prototipo de moto de competición de 125 centímetros cúbicos y 2 tiempos.

La motocicleta debe superar unas pruebas de evaluación que se llevan a cabo en las instalaciones de la Ciudad del Motor de Aragón. En ellas se tienen en cuenta aspectos técnicos de la moto como son la aceleración, la frenada, la manejabilidad y la durabilidad, y también se pone a prueba la capacidad de innovación en el diseño y estética de la moto.

Por tanto, este proyecto se enmarca dentro de un trabajo multidisciplinar que comprende distintas tareas relacionadas con la elaboración de un sistema de telemetría de una moto de competición. Aunque, la memoria de este trabajo se centra, en particular, en la configuración del sistema de transmisión de datos.

El comienzo de la participación de la ETSIT en MotoStudent data del curso 2008-2009. Esta iniciativa surgió con el propósito de hacer posible que los alumnos alcanzasen las competencias reales y de largo alcance mediante la articulación de proyectos de carácter técnico, dirigidos al diseño y construcción de prototipos de elementos, dispositivos o sistemas tecnológicos vinculados a las titulaciones universitarias estudiadas.

En 2013, el equipo de estudiantes de la ETSIT consiguió alcanzar la segunda posición en el campeonato de velocidad “MotoDes” celebrado en Cheste (figura 1.1).



*Figura 1.1 Segunda posición del equipo de Moto-UPCT en Cheste.*

## 1.2. Objetivos

### 1.2.1. Objetivo general

El objetivo general consiste en obtener el mayor rendimiento de la moto, así como mejorar sus prestaciones prueba tras prueba, y para conseguirlo es necesario recopilar la mayor cantidad posible de información en tiempo real.

Para ello vamos a diseñar un sistema de transmisión de datos bidireccional, en el cuál, los datos generados por la moto sean transmitidos inmediatamente después de ser registrados. Se pretende monitorizar el estado de la moto en cada uno de los tramos del circuito en tiempo real y así, poder comprobar la eficiencia del desarrollo elegido.

El sistema se basa en una estación base de GSM que pueda dar cobertura a todo el circuito, y así la comunicación sea independiente a cualquier operador. Esta función se va a desarrollar a partir de una herramienta que incorpora el equipo R&S CMW500.



## 1.2.2. Objetivos específicos

Los objetivos específicos son:

- Establecer una comunicación inalámbrica punto-a-punto entre la fuente de datos instalada en la moto, y nuestro instrumento de radiocomunicación R&S CMW500, sobre el estándar GSM.
- Realizar la transferencia de paquetes de datos a través del protocolo UDP/IP para que sea lo más rápida posible y sin interrupciones.
- Comprobar la eficiencia del sistema realizando una transferencia punto-a-punto de paquetes de datos.

## 1.3. R&S CMW500

El R&S CMW500 es un instrumento de medida, capaz de realizar la función de un generador de radiofrecuencia, un analizador de radiofrecuencia y una estación base, a través de un sólo equipo. Éste soporta estándares de telefonía móvil tan comunes como son GSM y WCDMA, y otros más recientes como LTE (incl. MIMO) [3].

Además, permite realizar sofisticadas tareas de medición inalámbrica durante la ejecución de una aplicación, lo que nos ha permitido ajustar parámetros como la atenuación externa (parámetro que se describe en el Anexo A.1.1) durante el transcurso de la prueba, y con ello mejorar el índice de potencia recibida en el dispositivo móvil, como veremos posteriormente.

### 1.3.1. Funcionamiento de R&S CMW500 según el tipo de aplicación

#### R&S CMW500 como generador de RF

En esta aplicación, la función del R&S CMW500 permite proporcionar una señal de radiofrecuencia a una frecuencia constante, o en cambio, a una serie de frecuencias y niveles configurables. También permite generar una señal de radiofrecuencia modulada según otra forma de onda determinada, que sea representada en el software del equipo a partir de un archivo [4].

#### R&S CMW500 como analizador de RF

La actuación del R&S CMW500 como analizador, garantiza una precisión absoluta, repetibilidad y linealidad para optimizar el rendimiento, por eso es capaz de realizar una medición diez veces más rápida que otras soluciones más convencionales [5]. Generalmente, cubre un intervalo de tiempo de base que puede repetirse periódicamente para calcular los resultados también de forma estadística.



## R&S CMW500 como estación base

Esta aplicación, permite establecer un canal radio entre los extremos de una comunicación, de manera que se puedan intercambiar mensajes de control y obtener información relativa al dispositivo móvil, como su capacidad, y también al enlace radio. Además, esta aplicación incorpora una interfaz que permite configurar todos los parámetros que intervienen en la comunicación.

Cuando el R&S CMW500 actúa como estación base, lo que hace es transmitir una señal en sentido descendente para que el dispositivo móvil pueda sincronizarse a la red y establecer un enlace directo [4].

### 1.4. Estructura de la memoria

La memoria está distribuida de la siguiente manera:

- Una introducción sobre las posibilidades que ofrece el instrumento R&S CMW500.
- Un segundo capítulo sobre el estado del arte de la telemetría que consta de 4 partes:
  - En la primera parte se describe la telemetría de forma general.
  - En la segunda parte se relata el origen y la evolución de la telemetría.
  - En la tercera parte describimos algunas de las aplicaciones más populares de la telemetría en la actualidad.
  - En la cuarta parte hablamos de las líneas futuras de la telemetría.
- En el tercer capítulo tratamos la evolución de los sistemas de comunicaciones móviles y se explica en detenimiento cada estándar, centrándonos en aquellos que se pueden implementar en el R&S CMW500.
- En el cuarto capítulo detallamos todos los entornos de aplicación posibles y describimos la función del R&S CMW500 en la aplicación que desarrollamos en este proyecto.
- El quinto capítulo explica el software que integra el equipo. En primer lugar, se enumeran las funciones que se pueden realizar con el equipo. Y después se tratan los elementos más importantes a tener en cuenta a la hora de utilizar el equipo.
- En el capítulo seis desarrollamos dos ejemplos de comunicación inalámbrica sobre los estándares de GSM y UMTS. En ambos, el planteamiento es el siguiente:
  - En primer lugar, se muestra la configuración realizada para que el instrumento R&S CMW500 actúe como una estación base. Y después se establece la comunicación paso a paso.
  - En segundo lugar, evaluamos el enlace realizando una transferencia de paquetes en el sentido ascendente de la comunicación.
- En el último capítulo, se hace una pequeña evaluación del proyecto, de los resultados obtenidos y las dificultades encontradas.



---

## CAPÍTULO 2

---

### Estado del arte de telemetría

#### 2.1. Introducción a la telemetría

La telemetría incluye un conjunto de procedimientos para medir magnitudes físicas y químicas desde una posición distante al lugar donde se producen los fenómenos que queremos analizar y además, abarca el posterior envío de la información hacia el operador del sistema [6]. El término telemetría procede de los términos griegos “*tele*” que significa remoto, y “*metron*”, que significa medida. Aunque el término telemetría, se suele aplicar para sistemas remotos sin cables, en algunas bibliografías también se puede encontrar para definir sistemas de transmisión cableados.

El sistema de telemetría va a estar formado por multitud de sensores repartidos por la moto y su mecánica, el sistema de transmisión de datos, que será expuesto posteriormente en esta memoria, y un dispositivo para el procesamiento y tratamiento de los datos que permitirá su visualización.

- El sensor es el elemento encargado de responder ante las variaciones de estado de las magnitudes físicas que estudiamos en la moto, como la velocidad, las revoluciones del motor, la posición de la moto o el estado de las suspensiones.
- El medio de transmisión se ocupa de establecer un enlace virtual entre ambos extremos de la comunicación, transparente a la comunicación. Se puede establecer de forma guiada por medios como redes de telefonía clásica, redes de ordenadores o enlaces de fibra óptica, o de forma no guiada a través de ondas de radio, comunicación por *bluetooth* o *wifi*, o mediante redes de telefonía móvil.
- El dispositivo de procesamiento se dedica a analizar y transformar los datos, según sea conveniente, para almacenar toda la información en una base de datos interna al propio ordenador. Además, implementa una herramienta software capaz de mostrar automáticamente los valores recogidos en las gráficas pertinentes y de representar la posición GPS de la moto en tiempo real.

#### 2.2. Origen y evolución de la telemetría

Aunque el origen de la telemetría no está claro, el primer circuito conocido de transmisión de datos se creó en 1915, durante la I Guerra Mundial, desarrollado por el alemán Khris Osterhein y el italiano Franchesco Di Buonanno para medir la distancia hasta los objetivos de artillería. Otras fuentes aseguran que el origen de la telemetría es algo anterior, situando el primer sistema de telemetría en la revolución industrial [7].



Los sistemas impulsados a vapor representan las raíces de la telemetría industrial, pues se consideran los primeros procesos industriales controlados de forma fiable y determinista. En concreto, los avances introducidos por James Watt en el motor de vapor de Thomas Newcomen's incluyen varios aparatos de monitorización y control, como el indicador de presión de mercurio o su famoso "flyball governor", conocido actualmente como el regulador de Watt (figura 2.1). Estos dispositivos monitorizaban y controlaban el proceso interno de un motor de vapor a distancia. La distancia no resultaba ser muy grande pero el lugar donde se realizaba la medición era bastante inaccesible.

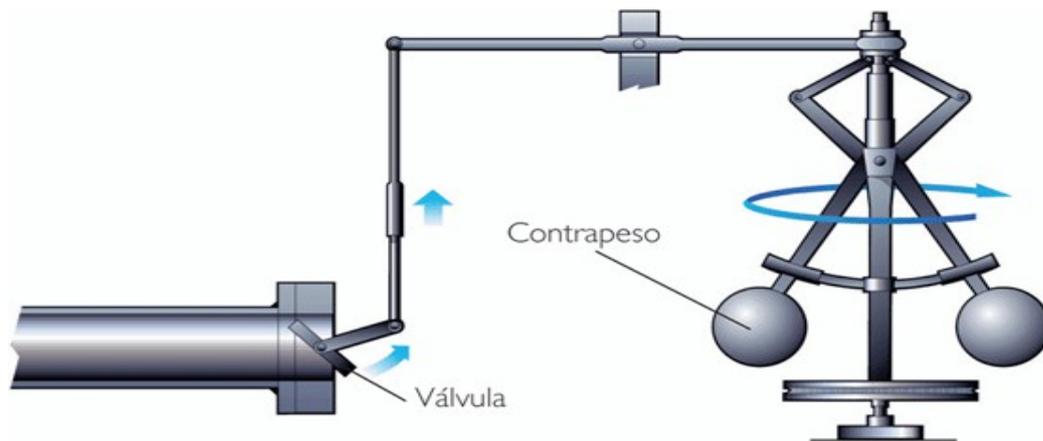


Figura 2.1. Regulador Watt [8].

Otra de las primeras aplicaciones de monitorización y control remoto fue el desarrollo de un sistema de seguridad ferroviaria (figura 2.2), patentado en 1872 por William Robinson [9]. Consistía en un circuito eléctrico formado por las vías férreas del tren. Éstas creaban una diferencia de potencial, y al entrar un tren en el circuito, las ruedas metálicas cortocircuitan los carriles y así, se detectaba que esa sección estaba ocupada. Este aviso era "telemetrado" a varias millas de distancia para indicar al tren que se aproximaba, que debía esperar hasta que la zona quedase libre.

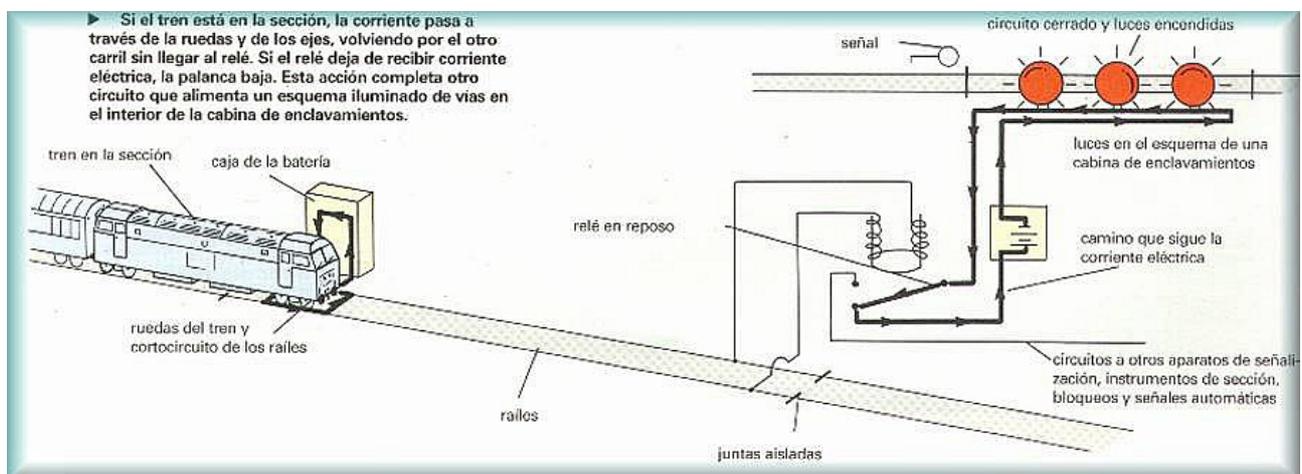


Figura 2.2. Circuito de vía [10].



Con la invención de la radiosonda en 1930 [11], se comenzó a observar la temperatura, la humedad y la presión de la atmósfera. Podía alcanzar altitudes de hasta 50000 pies.

Durante la Segunda Guerra Mundial también se idearon nuevas soluciones para establecer una comunicación a distancia, ante la necesidad de dirigir señales de aviso.

Como vemos, la historia de la telemetría industrial abarca cerca de 200 años, eventos como la Revolución Industrial, las dos Guerras Mundiales y el desarrollo de los ordenadores y la informática. En la actualidad, la telemetría abarca multitud de ámbitos industriales como el aeroespacial, el control de plantas químicas, la exploración científica de naves no tripuladas (submarinos, aviones de reconocimiento y satélites), ámbitos médicos, y el mundo de la competición, entre los que destacan categorías como Moto GP y Fórmula1.

En la Fórmula 1, los primeros sistemas de telemetría llegaron en los años noventa, de la mano de las escuderías Williams y McLaren. Supuso un gran avance tecnológico, y todos los equipos que no la usaron se quedaron atrás en la competición. Gracias a esta tecnología, los ingenieros recibían en tiempo real información sobre los monoplazas que rodaban por la pista (tiempo por vuelta, revoluciones del motor, presión del aceite, velocidad del viento, constantes vitales del piloto, etc.) e incluso podían modificar parámetros del coche desde el propio muro de boxes. La mejora de los sistemas fue tan grande, que a partir del año 2003 la Federación Internacional de Automovilismo (FIA) prohibió que los parámetros del monoplaza fuesen manipulados desde los garajes, y ahora sólo el piloto es el que puede hacerlo desde su volante.

## **2.3. Aplicaciones actuales de la telemetría**

En este apartado vamos a enumerar algunos de los numerosos campos en los que se aplica esta tecnología:

### **2.3.1. Competición: Fórmula 1 y Moto GP**

En el caso de Fórmula 1, los sistemas de telemetría son los sistemas auxiliares más importantes de los que se dispone [12].

Los sistemas que utilizan se basan en ondas microondas en la banda UHF (300 Mhz-300 GHz), y en conexiones punto a punto coche-portátil (PC). En las transmisiones inalámbricas la propagación ha de ser por línea de vista, es decir, que no haya ningún obstáculo sólido entre las antenas, porque las ondas utilizadas no son capaces de superarlos. Por ello se trabaja con envío de información a corta distancia mediante el uso de distintas antenas, aunque cuando el coche pasa lejos de los boxes puede haber pérdida de información. Podrían usarse también ondas de radio, que serían más rápidas, pero también menos fiables y con un menor ancho de banda, por lo que no podría transmitirse tanta información.



Para poder enviar información a corta distancia, a lo largo de todos y cada uno de los circuitos del Mundial, existen una serie de antenas repetidoras a las que llegan los datos desde los monoplazas.

Cada monoplaza lleva incorporada una pequeña y aerodinámica antena (figura 2.3) situada en el morro y a más de 10 cm de altura, para evitar que la curvatura de la tierra sea un obstáculo más. Es omnidireccional, trabaja a una frecuencia de entre 1,45 y 1,65 GHz, tiene una ganancia de aproximadamente +3 dBi y una potencia de 160 W. En la parte trasera del coche también se incorpora una segunda antena, en este caso unidireccional.



*Figura 2.3. Antena de telemetría de un monoplaza [12].*

Esta antena base se conecta a una unidad emisora/receptora CBR-610 que actúa como modem y des/encrpta la señal con los datos codificados (figura 2.4). Cuenta con una tasa de transferencia con picos de hasta 100 Mbps. Esta unidad prepara la información registrada por los sensores del coche, de tal forma que pueda gestionarse mediante el potente software “Atlas”, que permite la lectura de los datos mediante complejas gráficas.



*Figura 2.4. Centralita de datos de un monoplaza [13].*

Desde la propia "centralita de datos" también se envía la información directamente a la fábrica de la escudería vía satélite, usando antenas parabólicas trabajando en la banda SHF.



Sin embargo, el elemento clave sin el cual no sería posible la telemetría en la Fórmula 1 es la ECU (Electronic Control Unit). Podríamos decir que es la CPU del monoplaza, que se encarga de recoger todos los datos de los sensores. Es estándar y obligatoria para los 24 coches de la parrilla, y está fabricada por la escudería McLaren en colaboración con Microsoft.

La ECU está basada en la arquitectura Power-PC, cuenta con dos procesadores de 40 MHz, 1 GB de memoria estática, 1 MB de memoria flash ROM y 1 MB de memoria SRAM. Su tasa máxima de transmisión de datos es de 230Kbps. Los ingenieros usan un cable Ethernet o RS-232 para conectarla con un ordenador portátil y configurarla adecuadamente, aunque está bastante limitada por la normativa de la FIA.

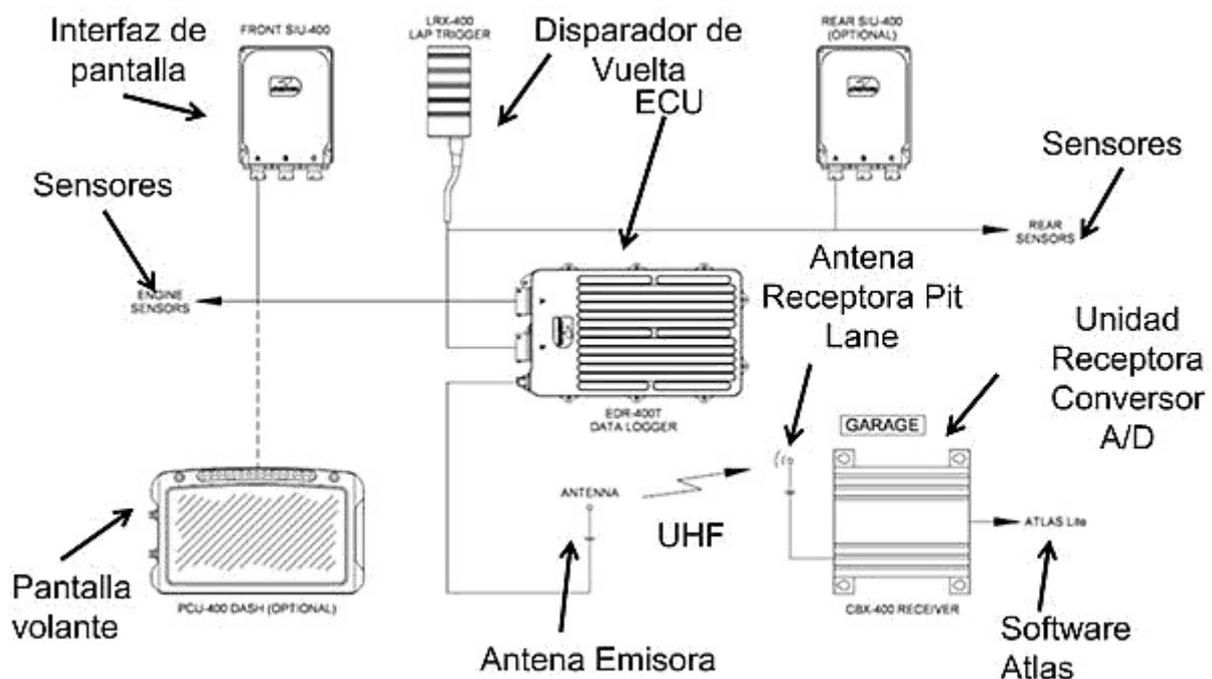


Figura 2.5. Esquema completo de un monoplaza [12].

En la competición MotoGP se lleva a cabo un sistema de telemetría totalmente distinto [14]. Por reglamento, en MotoGP la telemetría es offline, es decir, se recaba la información mientras el piloto está en pista, y luego, mediante el software propio de cada centralita, se descarga en el ordenador desde el que se trabaja. A diferencia de la Fórmula 1 que se trabaja en tiempo real, en MotoGP este sistema está prohibido.

En esta competición cada moto descarga toda la información después de cada expedición en pista. La información se transmite a través de canales, por ejemplo la Ducati GP 11 puede llegar a tener más de doscientos. Una vez registrada la información, los gráficos resultantes de la misma ayudarán al piloto, junto al analista de datos y al ingeniero de pista, a conocer la situación de su moto y de su propio pilotaje, en cada curva del circuito. Asimismo, podrá averiguar la marcha con la que negocia cada ángulo o la presión que ejerce sobre los frenos en todo momento, para conocer sus límites, y la mejor estrategia para superarlos sin exponerse a un accidente.



A continuación, podemos ver un gráfico que contempla variables como las revoluciones por minuto, las marchas, las suspensiones. Es un gráfico real de la telemetría del piloto MAPFRE Aspar, Héctor Barberá, en el circuito australiano de Phillip Island (figura 2.6).

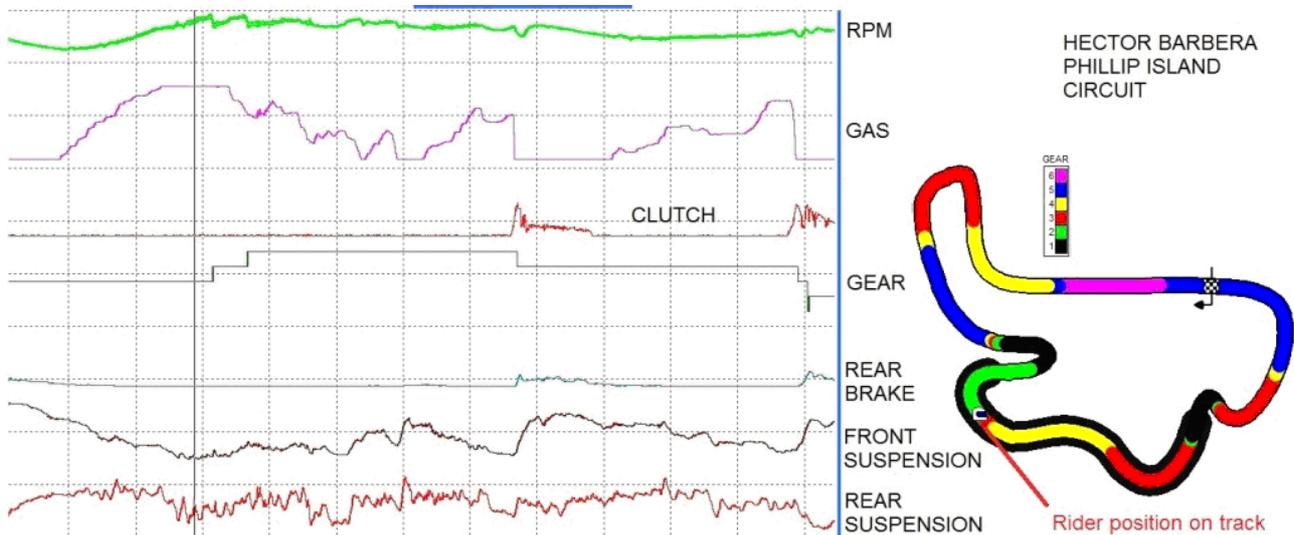


Figura 2.6. Ejemplo de telemetría en MotoGP [14].

### 2.3.2. Domótica

Con la integración de la telemetría en el campo de la domótica, es posible conocer el estado de cada componente domótico instalado en la vivienda de forma remota.

El acceso a la red domótica de la vivienda es posible a través de un teléfono móvil, PDA o un ordenador con acceso a internet [15], de manera que el particular puede controlar el sistema desde cualquier lugar donde se encuentre, ya sea en cualquier estancia de la casa o incluso fuera de la misma, y en tiempo real.

Además, esta técnica permite controlar cada dispositivo de forma individual, modificando variables como la iluminación, la climatización o la propia seguridad de la vivienda.

### 2.3.3. Robótica

La telemetría en robótica es esencial para obtener información sobre el entorno y sobre variables como la velocidad o la inclinación del sistema. De esta forma, podemos controlar el sistema y monitorizar el desarrollo de la tarea realizada por el equipo, como puede ser la manipulación de materiales radioactivos, la limpieza de residuos tóxicos, la búsqueda y rescate de personas o la localización de minas terrestres, para mantener los parámetros y niveles de medición en los valores deseados, y que se pueda modificar en un momento dado el resultado de la operación o corregir posibles fallos durante la ejecución.



También se utiliza la telemetría en robots para otros fines. Por ejemplo, determinar la distancia a la que se encuentran los objetos y así poder desplazarse por su entorno e interactuar con los objetos que lo rodean. Una de esas técnicas se denomina telemetría láser [16].

### 2.3.4. Medicina

En medicina, la telemetría es comúnmente usada para registrar eventos electrocardiográficos a distancia (figura 2.7).

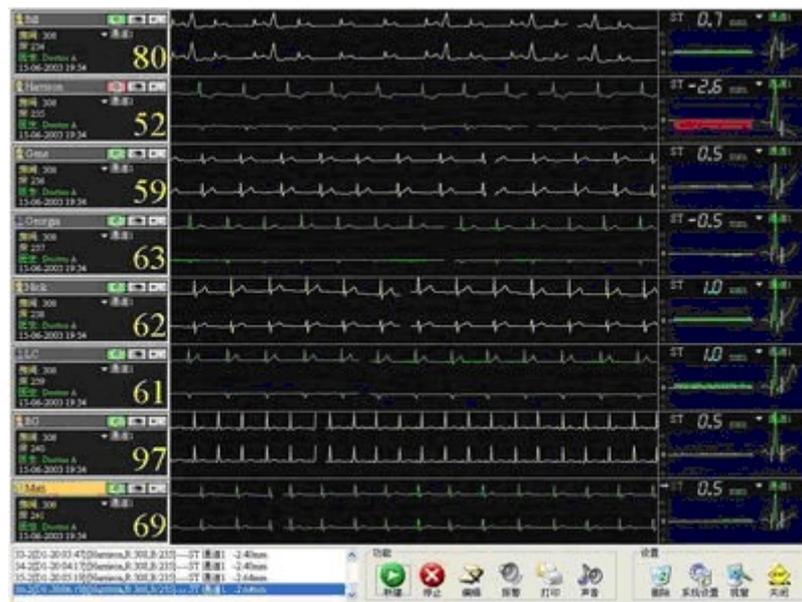


Figura 2.7. Electrocardiograma obtenido por telemetría [17].

El sistema utiliza radiotransmisores que están conectados al paciente mediante 5 electrodos adheridos a la piel, y que permiten dotar de mayor libertad a los pacientes para deambular y moverse.

El ordenador central refleja los E.C.G. de los pacientes conectados a él y guarda los eventos importantes ocurridos durante las últimas 24 horas. En un estudio realizado por Pérez Titos CB y Oliver Ramos MA, del Hospital Universitario Médico-Quirúrgico «Virgen de las Nieves» de Granada [18] se obtuvo que el 80% de los pacientes estudiados registraron eventos en la Telemetría y el 23%, de éstos, fueron eventos graves.

## 2.4. Líneas de investigación en la telemetría

A continuación se presentan diversos estudios actuales que muestran las distintas posibilidades que ofrece la telemetría de cara al futuro [19]:

### 2.4.1. Láser de estado sólido de pulsos cortos para telemetría

La determinación de distancias por telemetría láser es una de las aplicaciones de mayor interés y de las primeras en que se utilizara esta fuente de radiación. Uno de los procedimientos más frecuentemente utilizado, requiere del diseño de una cavidad que funcione en régimen pulsado, generando pulsos cortos adecuados para su empleo en técnicas de medidas remotas, en que la medición a realizar es el tiempo transcurrido entre el envío de la señal y el registro del eco producido por un objetivo elegido como “blanco” (figura 2.8). Por la rapidez en la determinación, el grado de colimación propio del láser y la condición de incerteza fija en todo el rango de medición, es el método más difundido, cuando es tolerable la incerteza característica del mismo. Basa su funcionamiento en la detección del eco de una señal láser de muy corta duración, a partir de la determinación del tiempo transcurrido entre la emisión y la recepción de la misma (tiempo de vuelo).

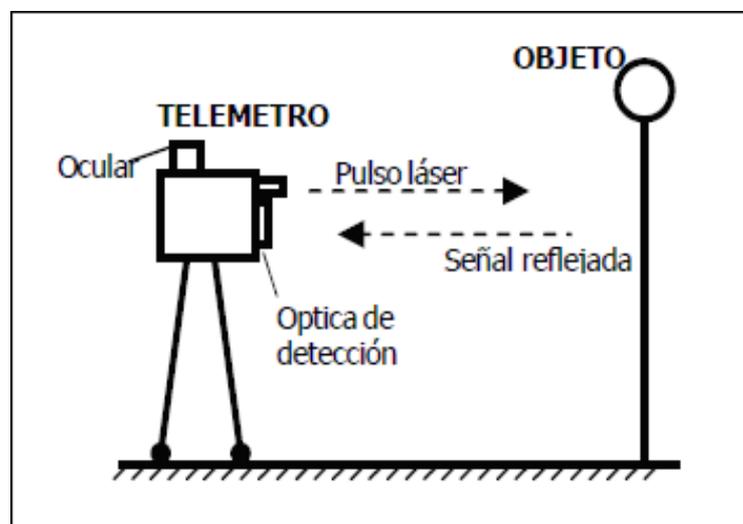


Figura 2.8. Telemetría láser [19].

### 2.4.2. Control de vehículos aéreos no tripulados

En el entorno de los aviones aéreos no tripulados (UAV), una de las partes más importantes es la telemetría del avión. Gracias a ella se consigue localizar, monitorizar y extraer medidas en tiempo real relevantes para el estudio de la aerodinámica del aparato. Para que la transferencia de datos sea adecuada, hace falta tener en cuenta muchos factores como por ejemplo la calidad del envío de la señal, la banda de frecuencia en la que se trabaja, las interferencias con otros dispositivos, etc. Dependiendo del tipo de antena en la estación de control de tierra utilizada para la comunicación con el avión, puede ser importante que la orientación de dicha antena apunte al UAV con el fin de conseguir la mayor potencia de transmisión posible.



### **2.4.3. Integración de la monitorización y control eficiente en tiempo real de redes de agua potable**

La gestión de la redes de agua potable comprende dos niveles. El primer nivel consiste en la monitorización de la red, que implica la observación del sistema mediante la utilización de los sistemas de telemetría, registrando las variables más significativas del funcionamiento de la red así como la correcta operación de los sistemas de control/actuación instalados en la red (fallos en sensores/actuadores, fugas, etc.). El segundo nivel consiste en el control operacional de la red que se encarga de determinar las estrategias de control admisibles para los actuadores del sistema (bombas y válvulas), de forma que optimicen el funcionamiento de la red minimizando el consumo de agua y energía de la red.

### **2.4.4. Metodologías para la colecta de muestras en fauna silvestre *in situ***

El estudio de la fauna silvestre implica el manejo de las poblaciones y su hábitat, ya sea para el aprovechamiento de las especies cinegéticas y de importancia comercial, el control de las poblaciones que causan daño a los intereses humanos, o para la conservación de especies amenazadas. Determinar los diferentes métodos para la colecta de muestras en la investigación del médico de la conservación se hace una actividad transversal a otras ciencias de forma transdisciplinaria cuando se trabaja en condiciones *in situ*. Gran parte de la diversidad biológica se pierde como consecuencia de las enfermedades o de problemas de tipo antrópico que afectan la fauna silvestre, la incidencia de enfermedades y de contaminantes provoca cambios en las poblaciones afectando procesos evolutivos y ecológicos que regulan la biodiversidad; debido a esto se han establecido y aplicado nuevas metodologías y técnicas de recolección de muestras con el fin de tomar datos en campo, estas actividades se están mostrando eficaces para establecer planes de conservación y así avanzar en la comprensión del conocimiento en las ciencias veterinarias según los resultados ofrecidos en la investigación científica, en este campo, la telemetría de las variables de interés juega un papel principal.

### **2.5.5. Alerta de desborde de ríos y consulta de parámetros de humedad y temperatura vía SMS**

Se trata del desarrollo de un módulo de telemetría basado en la red de telefonía móvil GSM (Global System Mobile) con el fin de alertar a una persona o grupo de personas ante el posible desborde de un río, y permitir la consulta de parámetros de temperatura y humedad relativa vía mensaje de texto ó SMS (Short Message Service). Para la medición del nivel de agua se utilizó tecnología de ultrasonido y para la medición de humedad y temperatura el sensor digital SHT-11.



#### **2.4.6. Medición de profundidad de ríos y lagos**

Para tratar los problemas de sequías e inundaciones es necesario conocer bien los caudales de los ríos o la profundidad de los lagos, ya que esta labor ha sido siempre realizada de manera artesanal. A través de un sistema de telemetría por radio capaz de medir la profundidad a la que se encuentra el suelo del nivel del agua y estaciones hidrométricas para obtener los valores de caudal del río, podemos obtener los valores reales y actualizados para el correcto funcionamiento de las centrales hidroeléctricas y controlar mejor las posibles sequías e inundaciones que pudiera haber.

Como podemos ver, existen infinidad de campos en los que la telemetría juega un papel fundamental, por lo que poco a poco, y con la evolución de la tecnología, su uso se hace más común y necesario en todos los campos de trabajo y estudios.

## CAPÍTULO 3

### Sistemas de comunicaciones móviles

#### 3.1. Evolución de los sistemas de comunicaciones móviles

La creación de los primeros sistemas de comunicaciones móviles data de mediados de los años 40 del siglo XX. El primer servicio público de telefonía móvil se introdujo en 1946. Los sistemas estaban compuestos por un único transmisor de alta potencia y una torre de gran altura, que transmitían con la máxima potencia para proporcionar un área de cobertura lo más extensa posible, y así tener en cuenta la movilidad de vehículos.

Más tarde se produjo un hecho significativo en la historia de las comunicaciones móviles, el desarrollo del concepto de reutilización celular de las frecuencias (figura 3.1), propuesto por primera vez en 1947, por un ingeniero de los laboratorios Bell, Douglas H. Ring. El concepto de red celular proponía dividir el espectro disponible en varios canales, limitar la potencia de los transmisores y extender la cobertura instalando un número mayor de éstos, con lo que se conseguía reducir el coste, tamaño y peso de los transmisores y aumentar la capacidad. La clave de su funcionamiento residía en reutilizar la misma frecuencia en aquellos transmisores que estuviesen lo suficientemente alejados para no interferirse entre sí. Estos sistemas de comunicaciones móviles comenzaron a instalarse a principios de los años setenta [20].

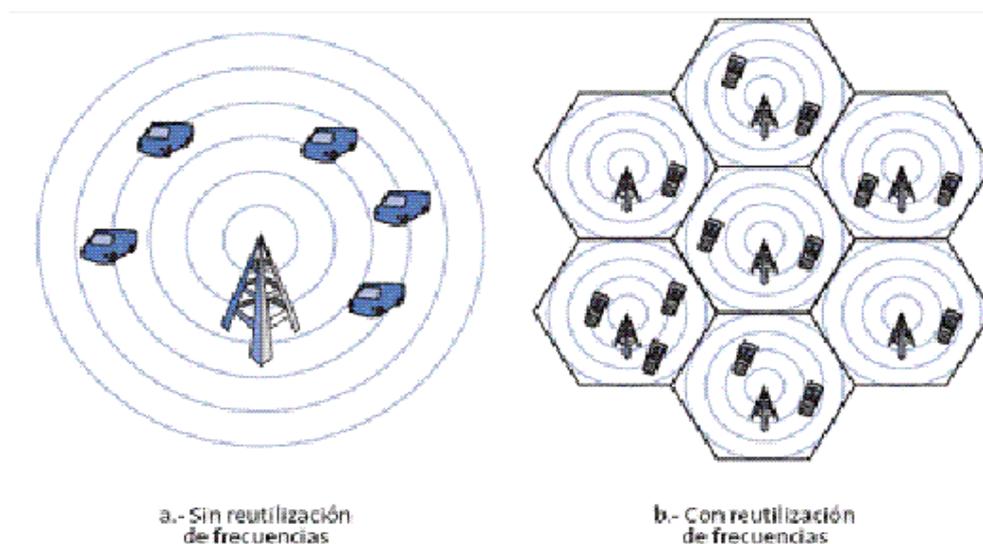


Figura 3.1. Evolución de la red celular [21].



En los años ochenta surgieron los sistemas de primera generación. Cada país desarrolló un sistema propio, citamos por ejemplo el sistema NMTS escandinavo, el TACS británico, el AMPS estadounidense, el sistema C alemán, el Radiocom francés o el RTMS italiano.

La primera red celular de telefonía móvil pública fue instalada por la operadora japonesa NTT en 1979, se denominó al sistema NAMTS. Esta red no soportaba el traspaso de la conexión, pero se consiguió con la red instalada en Australia en 1981.

A finales de la década de los ochenta, se comprobó que los sistemas analógicos de primera generación no iban a ser capaces de satisfacer la demanda de servicios de comunicaciones móviles de las siguientes décadas, así que se produjo la digitalización de los sistemas de comunicaciones móviles, que fueron denominados como sistemas de segunda generación.

Esta transición supuso además, el diseño de un estándar único europeo denominado GSM (Group Special Mobile), puesto que en Europa las fronteras entre los países europeos prácticamente dejaban de existir y la existencia de varios sistemas de comunicaciones móviles incompatibles carecía de sentido. Este sistema debía dar servicio a un gran número de abonados, con cobertura internacional y además, estar abierto a la interacción con las futuras redes avanzadas de telecomunicaciones.

Los primeros estudios se centraron en establecer una banda de frecuencias común reservada para GSM, una estructura celular digital, un sistema de acceso múltiple TDMA de banda estrecha, un algoritmo de codificación de fuente de baja velocidad binaria, y señalización avanzada.

El sistema GSM (Global System for Mobile communications) inició su operación comercial en 1992 en base a las especificaciones GSM Phase-1 concluidas por el ETSI (European Telecommunications Standards Institute) en 1990 [22].

El sistema ofrecía servicios básicos como teleservicios y servicios portadores, y algunos suplementarios. Más tarde, se introdujeron nuevos servicios portadores y teleservicios, y numerosos servicios suplementarios. Por último, se aplicaron algunas mejoras como el sistema HSCSD y GPRS, el primero permitía alcanzar mayores tasas de transmisión de datos, y el segundo introdujo la conmutación de paquetes.

Los sistemas de 3G actuales fueron establecidos mediante el proyecto de la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) sobre Telecomunicaciones Móviles Internacionales 2000 (IMT-2000). Las tecnologías de 3G habilitaron mayores velocidades de transmisión de datos, mayor capacidad de las redes y más servicios de red avanzados.

La llegada de la última generación 4G es reciente, se podría definir como “all-IP”, donde se busca un sistema que permita conjugar una capacidad multimedia con una movilidad plena.



## 3.2. Estándar de comunicaciones móviles

En esta sección de la memoria, vamos a centrarnos principalmente en los estándares de comunicaciones móviles que son soportados por el R&S CMW500.

### 3.2.1. Sistemas de comunicaciones móviles 2G

#### Introducción al sistema GSM

La red GSM proporcionaba todas las ventajas de los sistemas digitales, además de la interconexión con la red fija de telefonía móvil RDSI [22]. Ofrecía servicios de voz de alta calidad y preveía unos servicios de transmisión de datos desde su fase inicial. Sin embargo, se trataban de servicios con modalidad de transferencia por conmutación de circuitos. Esto significaba que la red, una vez establecida la conexión física entre dos usuarios, dedicaba los recursos propios hasta que no fuera solicitada expresamente la liberación de la conexión, independientemente del hecho de que los dos usuarios se intercambiaban datos o no durante el proceso de conexión.

Este modo de transferencia era adecuado para las señales de voz, ya que mantener los recursos ocupados durante todo el proceso de intercambio de información facilitaba el tráfico de señales sensibles a retardos. Sin embargo, no era el mejor tipo de conexión para la transmisión de paquetes de datos.

#### Arquitectura del sistema GSM

La estructura de la red del sistema GSM es de tipo jerárquica. Los elementos que la integran y que vamos a ver a continuación, están conectados mediante interfaces definidas en el estándar.

- Estación móvil, MS (Mobile Station Equipment): es el dispositivo móvil con el que el usuario se conecta a la red a través de la interfaz Um, estableciendo un enlace radio entre la estación móvil y la estación base de su misma área [20].
- Estación Base, BTS (Base Transceiver Station): está formada por transmisores/receptores de radio (transceptores), los elementos de conexión al sistema radiante, las antenas y las instalaciones accesorias (torre soporte, pararrayos, tomas de tierra, etc.) para dar servicio a una o varias células (sectorizada) [20].
- Controlador de estaciones base, BSC (Base Station Controller): constituye el primer nivel de concentración de tráfico para minimizar los costes de transmisión [22].
- Centro de conmutación de servicios móviles, MSC (Mobile Service Switching Center):



se encarga de realizar labores de conmutación dentro de la red y señalización básicas [22].

- Registro de localización local, HLR (Home Location Register): es una base de datos que contiene información relativa a todos los usuarios abonados de la red móvil [20].
- Registro de localización de visitantes, VLR (Visited/Visitor Location Register): es una base de datos que contiene información sobre los abonados que se encuentran actualmente en alguna de las LA (agrupación de BSC) que forman parte del MSC al que está asociado el VLR [20].
- Puerta de Enlace, SMS-GMSC (Gateway Mobile Service Switching Center): es un nodo que permite interrogar al HLR para obtener información de encaminamiento para una llamada dirigida a un móvil. Por lo tanto, es el nexo de unión de la red GSM con otras redes externas[22]. También se encarga de la gestión de los SMS [20].
- Centro de operación y mantenimiento, OMC (Operation and Maintenance Center): como su propio nombre indica se dedica a tareas de mantenimiento y gestión, por eso se comunica con todos los elementos de la red [20].
- Registro de identificación de registros, EIR (Equipment Identity Register): su función consiste en evitar que se utilicen equipos móviles no autorizados [22].
- Centro de autenticación, AUC (Authentication Center): gestiona los datos de seguridad y autenticación de los usuarios [22].

### **3.2.2. Sistemas de comunicaciones móviles 2.5G**

#### **Introducción al sistema GPRS**

El estándar GPRS (General Packet Radio System) fue establecido por el ETSI (European Telecommunication Standard Institute) a mediados de la década de los 90 [23].

Este sistema estaba basado en la interfaz aire del sistema GSM para la transmisión de paquetes vía radio y además, permite una adecuada integración de los protocolos de Internet TCP/IP con la red móvil instalada GSM.

Esta tecnología se ideó para subsanar las deficiencias de GSM en cuanto a la transmisión de datos, introduciendo para ello una red de conmutación de paquetes.

## Arquitectura del sistema GPRS

Para permitir el modo de transferencia de paquetes de datos, GPRS introduce dos nuevos elementos denominados GSN (Gateway Support Node) sobre la arquitectura de GSM (figura 3.2):

- Nodo de soporte servidor de GPRS, SGSN (Serving GPRS Support Node): es el elemento responsable de entregar los paquetes a las estaciones móviles dentro de su área de servicio. Entre sus tareas también figuran la gestión de la movilidad de la estación móvil, funciones relacionadas con la seguridad como el cifrado y la autenticación, y la recopilación de la información necesaria para efectuar la tarificación.
- Nodo de soporte pasarela de GPRS, GGSN (Gateway GPRS Support Node): este nodo actúa como una pasarela hacia las redes de conmutación de paquetes (RCP) externas, que usualmente son redes IP o redes públicas de conmutación de paquetes X.25.

La comunicación entre ambos nodos tiene lugar sobre una red IP de carácter privado, que forma parte de la infraestructura de la red de comunicaciones móviles. Sobre esta red, que recibe el nombre de red troncal GPRS, se establece un túnel entre los nodos GSN mediante un protocolo específico denominado protocolo de túnel de GPRS, GTP (GPRS Tunneling Protocol). A través de este túnel se transmiten los paquetes de usuario y los mensajes de señalización entre los nodos.

Si los nodos SGSN y GGSN perteneciesen a redes distintas, se precisaría una tercera red troncal a la que se conectarían ambas redes, pero como no es nuestro caso no entraremos en detalles.

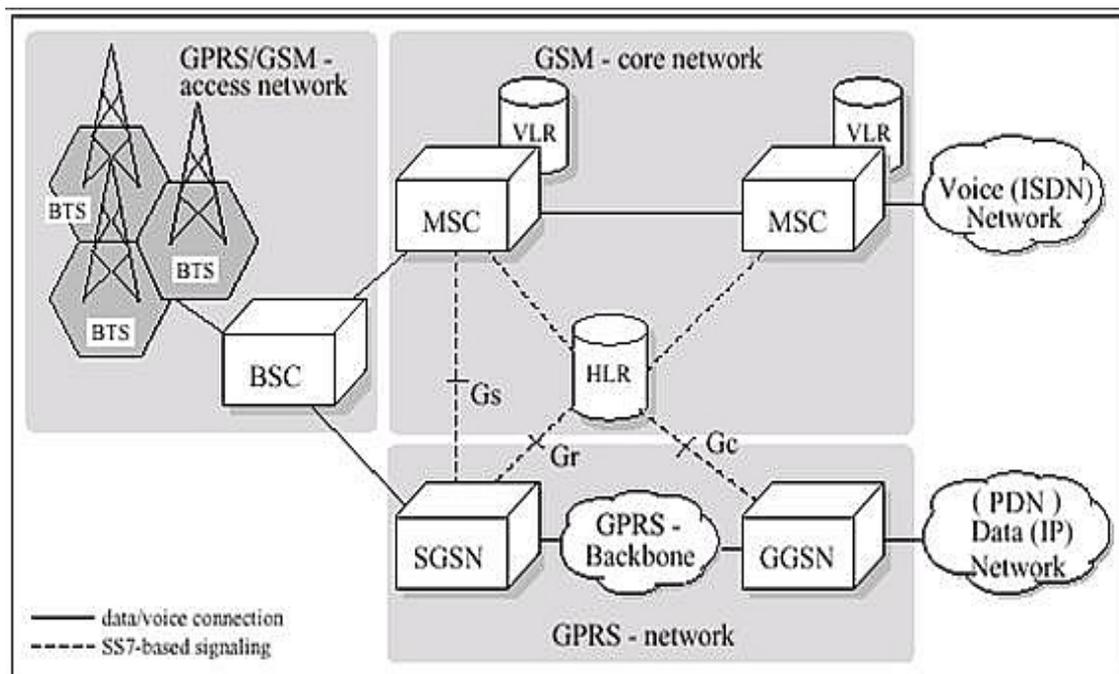


Figura 3.2. Arquitectura GPRS [24].



## Proceso de conexión

En esta sección vamos a ver qué sucede cuando queremos transmitir un paquete de datos a través de GPRS y cómo llega a su destino. Sólo vamos a profundizar en este aspecto con GPRS, puesto que es el sistema que se ha utilizado para desarrollar la comunicación inalámbrica que mostraremos posteriormente en el ejemplo (apartado 4.1).

Cuando se desea transmitir un mensaje, éste se divide en paquetes cortos que contienen las direcciones origen y destino en su cabecera. Al transmitir cada paquete, se pueden transmitir por canales radio distintos, por eso cada paquete tiene un identificador de conexión que lo asocia al mensaje de partida. En el receptor, conforme se recibe cada paquete se van almacenando en un buffer de datos hasta recibir todos los paquetes para componer el mensaje inicial.

El proceso de enrutamiento que sigue cada paquete por la interfaz radio hasta alcanzar su destino se explica a continuación (figura 3.3):

1. Para transmitir un paquete generado por la estación móvil, ésta debe entablar primero una relación con la estación base que se encuentre dentro de su área (SGSN-S) denominada “attach”.
2. Después la estación base SGSN-S establece una relación con la puerta de enlace GGSN-S conocida como “contexto PDP (Packet Data Protocol)”. De este modo, se establece un túnel GTP entre los nodos SGSN y GGSN, y los recursos se dedican a esta conexión establecida.
3. El paquete de datos se encamina hacia el nodo SGSN-S, y una vez recibido, se liberan los recursos establecidos entre la estación móvil y el nodo SGSN-S para que puedan ser utilizados por otro usuario. El nodo encapsula los paquetes y envía a través del túnel GTP establecido por la red troncal IP, hacia la puerta de enlace GGSN-S. Una vez que la transferencia nodo a nodo está completada, se liberan de nuevo los recursos utilizados (y así sucesivamente conforme el paquete va avanzando).
4. El nodo GGSN-S proporciona el acceso a la red de paquetes adyacente donde se encuentra el servidor. A partir de ahora los paquetes se encaminarán mediante el protocolo de transporte UDP.
5. El nodo GGSN-D desencapsula el paquete, y en función de la dirección IP de destino que contiene la cabecera, será transmitido al SGSN-D correspondiente.
6. Por último, el SGSN-D entregará el paquete recibido a su destinatario final.

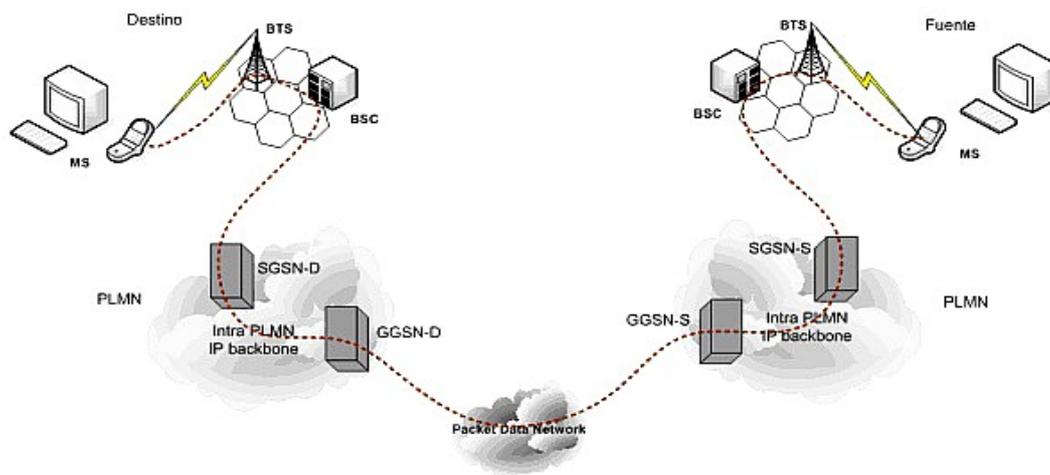


Figura 3.3. Ejemplo de encaminamiento de paquetes [23].

### 3.2.3. Sistemas de comunicaciones móviles 3G

#### Introducción al sistema W-CDMA

W-CDMA es un estándar de comunicaciones desarrollado para el sistema UMTS (Universal Telecommunication Standard System) y estandarizado por la UIT. Utiliza la técnica de acceso múltiple CDMA, que permite a los usuarios compartir una misma banda de frecuencias en el mismo intervalo de tiempo, asignando un código único a cada uno de ellos [20].

Tiene dos modos de operación:

- FDD (Frequency Division Duplex): los enlaces ascendente y descendente utilizan canales de 5 MHz diferentes y separados por una frecuencia de 190 MHz.
- TDD (Time Division Duplex): los enlaces ascendente y descendente comparten la misma banda de 5MHz. Por tanto, se introduce la técnica TDMA para distinguir a un usuario de otro dentro del mismo radiocanal.

#### Arquitectura del sistema W-CDMA

La arquitectura general del sistema UMTS consta básicamente de tres bloques [25]: la estación móvil, la red terrestre de acceso radio UTRAN (UTRA Network) formado por los Nodos B y Controladores radio de la red, y la red troncal CN (Core Network) formada por los equipos encargados de la conmutación de paquetes y de circuitos (figura 3.4).



- Estación móvil, UE (User Equipment): Es el terminal móvil junto con su módulo de identidad de servicios de usuario equivalente a la SIM en GSM (USIM).
- Nodo B: responsable de la transmisión y recepción hacia/desde los terminales de usuario, equivalente a la estación base en GSM.
- Controlador radio RNC (Radio Network Controller): controla uno o más Nodos B, y está encargado de la señalización, del control del uso e integridad de los recursos radio, y de funciones de separación y combinación.

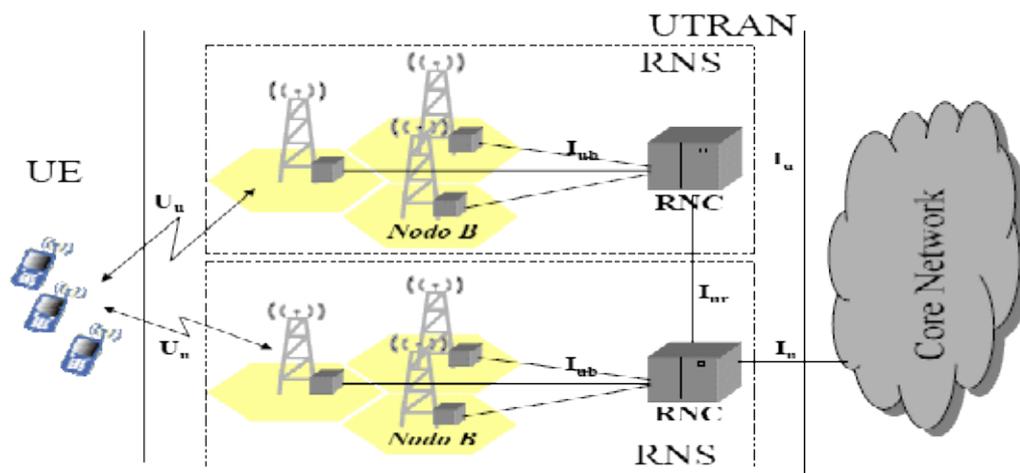


Figura 3.4. Arquitectura UMTS [25].

### 3.2.4. Sistemas de comunicaciones móviles 4G

#### Introducción al sistema LTE

Con LTE (Long Term Evolution) se introduce una gran variedad de novedades. Destaca el hecho de que todos los servicios, incluida la voz, son soportados por el protocolo IP [26].

Además, debido a las técnicas de transmisión utilizadas, junto con las estructuras de transmisión y recepción con múltiples antenas, las velocidades que se alcanzan en la interfaz radio aumentan con respecto a la última generación, llegando a un rango de 100 Mbps y 1 Gbps. En el enlace descendente se usa la técnica de acceso múltiple denominada OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) y para el enlace ascendente, la técnica denominada CS-FDMA (Single Carrier Frequency Division Multiple Access).



## Arquitectura del sistema LTE

En las especificaciones se denomina a la arquitectura del sistema LTE (figura 3.5) como EPS (Evolved Packet System). El sistema queda dividido en un equipo de usuario, una nueva red de acceso que denominaremos E-UTRAN, formada únicamente por estaciones base eNB, y una red troncal denominada EPC formada por los elementos MME, S-GW, P-GW y HSS:

- Equipo de usuario: es el equipo que permite al usuario conectarse a la red LTE y disfrutar de los servicios que nos proporciona a través de la interfaz radio. La arquitectura funcional de un equipo de usuario es la misma que se definió para GSM y UMTS. Está formado por el módulo de suscripción SIM/USIM y equipo móvil ME.
- Estación base eNB (Nodo B evolucionado): encargados de la conexión entre los usuarios y la red troncal EPC, y las funcionalidades de la red de acceso.
- MME: es el elemento principal del plano de control de la red LTE para gestionar el acceso de los usuarios a través de E-UTRAN. Todo terminal tiene una entidad MME asignada, dependiendo de la ubicación geográfica del terminal en la red, así como a criterios de balanceo de cargas.
- S-GW: es la pasarela del plano de usuario entre E-UTRAN y la red troncal EPC. Todo usuario registrado en la red LTE también tiene asignado una entidad S-GW en la red EPC, a través de la cual transcurre su plano de usuario.
- P-GW (PDN Gateway): es la encargada de proporcionar conectividad entre la red LTE y las redes externas, haciendo de pasarela entre una red y otra. Por lo tanto, un paquete IP generado en la red LTE resulta “invisible” en la red externa, a través de la entidad P-GW. Un usuario tiene asignada como mínimo una pasarela P-GW desde su registro en la red LTE.
- HSS: es la base de datos principal que almacena los datos de todos los usuarios de la red relativa a la suscripción del usuario, y a lo necesario para la operatividad de la red. Esta base de datos es consultada y modificada desde las diferentes entidades de red encargadas de prestar los servicios de conectividad o servicios finales.

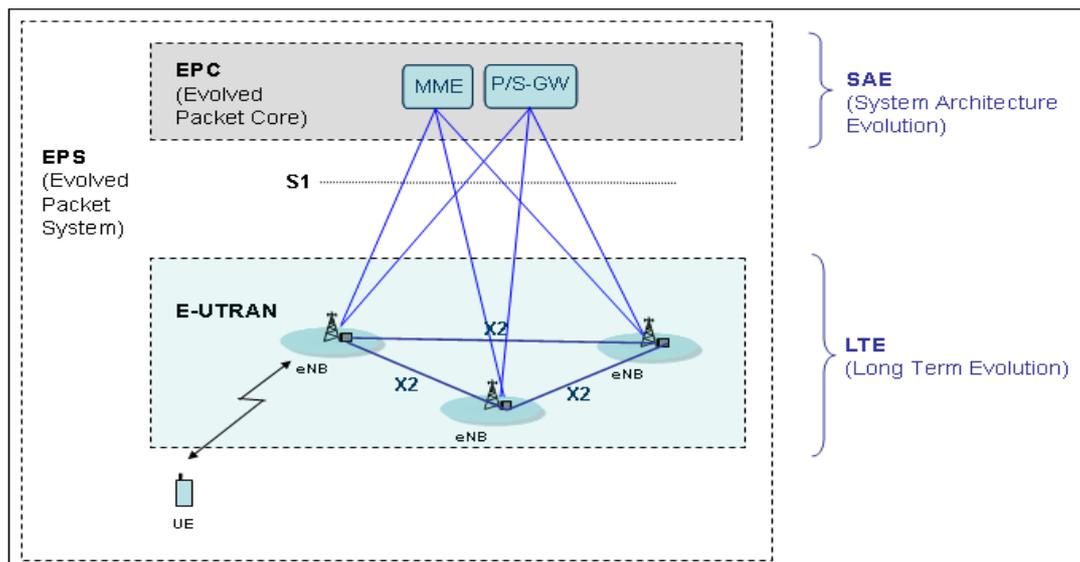


Figura 3.5. Arquitectura LTE [27].

### 3.2.5. Comparativa

En este apartado vamos a ver una tabla que resume las principales características de todos los sistemas de comunicaciones de telefonía móvil mencionados en el apartado anterior.

	GSM/GPRS	WCDMA(UMTS)	HSPA HSDPA/HSUPA	LTE
Velocidad Máx. DL	10-150 Kbps	384 Kbps	14 Mbps	100 Mbps
Velocidad Máx. UL	10-150 Kbps	128 Kbps	5.7 Mbps	50 Mbps
Latencia (aprox.)	600 ms	150 ms	100 ms	10 ms
Versiones 3GPP	97	99/4	5/6	8
Año de lanzamiento	1991	2003/4	2005/6 (HSDPA) 2007/8 (HSUPA)	2009/10
Técnica de acceso	TDMA/FDMA	WCDMA	WCDMA	OFDMA/SC-FDMA
Ancho de banda	200 KHz	5 MHz	5MHz	1.4-20 MHz
Tipos de modulación que soporta	GMSK, 8-PSK	QPSK	QPSK, 16-QAM	QPS, 16-QAM, 64-QAM
Potencia de salida del dispositivo móvil (dBm)	30-33	21	21	23

Tabla 3.1. Comparativa de los sistemas de comunicaciones móviles [28].



---

## CAPÍTULO 4

---

### Entorno de trabajo

Para recopilar la mayor cantidad posible de información en tiempo real, y monitorizar el estado de la moto en cada vuelta, vamos a diseñar un sistema de transmisión de datos bidireccional, para establecer una comunicación inalámbrica punto-a-punto entre la fuente de datos y nuestro instrumento de radiocomunicación R&S CMW500. De esta manera, se pretende que los datos capturados por los sensores instalados en la moto, sean transmitidos inmediatamente después de ser registrados al R&S CMW500, y a continuación, se transmitan por cable hacia el servidor.

#### 4.1. Escenario de la aplicación

Hay varios modelos que se pueden implementar para desarrollar un enlace de comunicación inalámbrica (figura 4.1).

En primer lugar, la comunicación se puede realizar a través de la red pública comercial, utilizando en el dispositivo móvil una tarjeta SIM comercial, de manera que los datos se transmitan por Internet a una IP pública a la que el servidor se pueda conectar y acceder a la información recogida.

De otra forma, se puede crear una red privada a través del R&S CMW500. En este caso, el R&S CMW500 debe ser equipado de una antena conectada a uno de los conectores frontales RF del equipo para que el conjunto sea capaz de proporcionar cobertura a todo el área del circuito y desarrollar la función de una estación base. En nuestro caso se trata de una antena pequeña bicónica omnidireccional (descrita en el Anexo A.1.2). Además, el R&S CMW500 va a estar conectado con el servidor vía Ethernet, de manera que los paquetes de datos transmitidos pasen de forma transparente por el instrumento, y se encaminen después por la red local hasta alcanzar el destino final. Así, es posible desarrollar una comunicación independiente a cualquier operador (modelo desarrollado en este proyecto).

A efectos prácticos, la estación móvil va a estar configurada por un sistema de adquisición y transmisión de datos denominado Arduino, integrado en la moto. Mientras que para realizar las pruebas en el laboratorio, este sistema ha sido implementado por el conjunto de un Módem USB (descrito en el Anexo A.1.3) conectado a un PC portátil. Aunque en ambos casos, es preciso utilizar una tarjeta específica de Rohde & Schwarz (descrita en el Anexo A.1.4) para que el dispositivo pueda ser detectado por la estación base, y ésta le permita conectarse a la red móvil.



### Mediante Internet

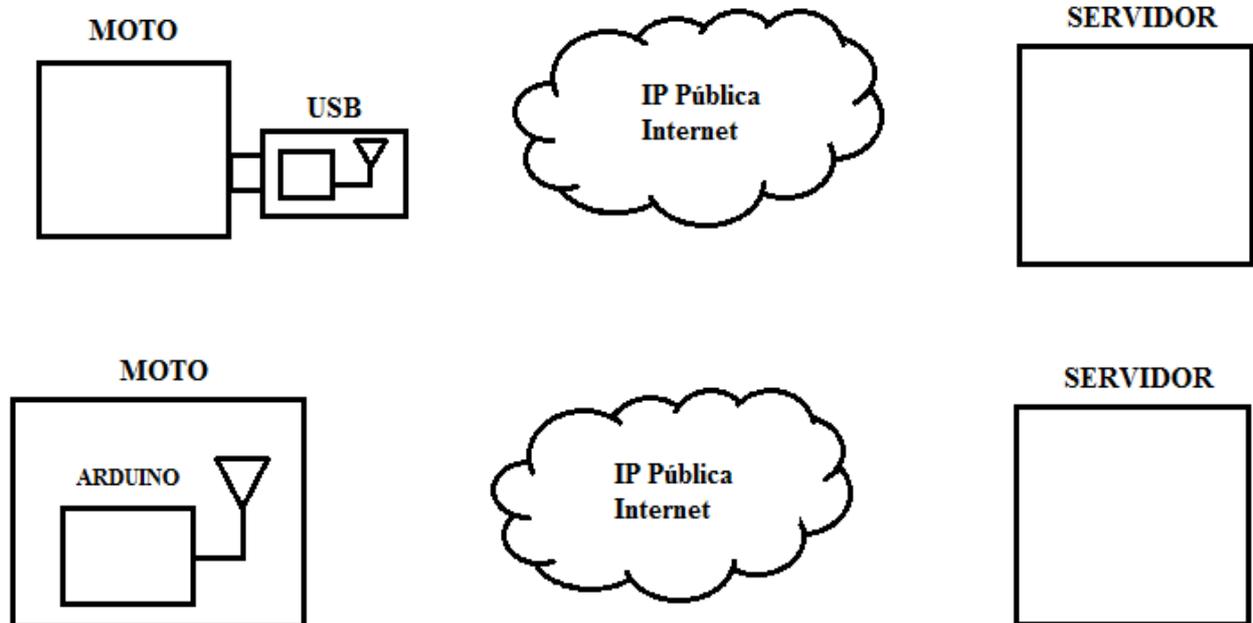


Figura 4.1. a) Comunicación inalámbrica a través de la red pública de Internet.

### Mediante R&S CMW500

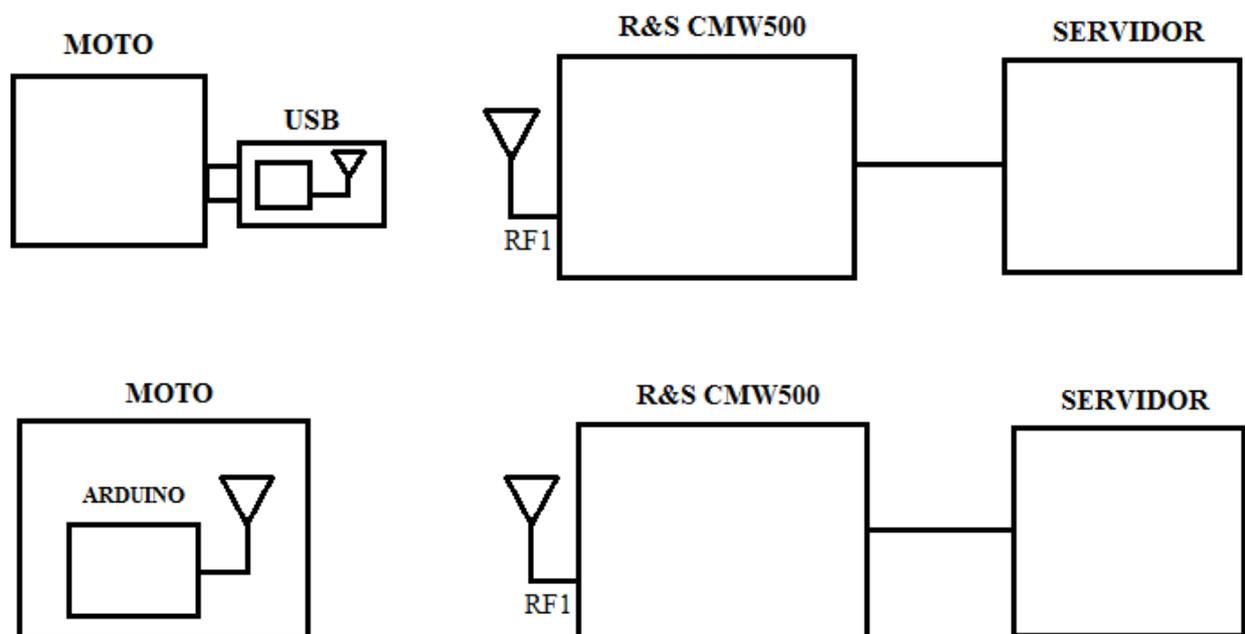


Figura 4.1. b) Comunicación inalámbrica a través de la red privada del R&S CMW500.



## 4.2. Instrumento de radiocomunicaciones Rohde & Schwarz CMW500

El R&S CMW500 es un equipo multidisciplinar, capaz de implementar todas las fases de desarrollo, verificación y producción de un proyecto (figura 4.2).

El equipo proporciona dos generadores de señal de RF para hacer pruebas de carácter general, y una serie de generadores para emitir sobre diferentes tecnologías de comunicación celulares y no celulares. Además, el equipo permite realizar una serie de medidas del sistema diez veces más rápido que cualquier otro sistema convencional, tanto en transmisión como en recepción, y representar los resultados de forma estadística. Además, garantiza una alta precisión en la producción debido a la captura y evaluación de datos simultánea.

También consta de varios conectores frontales de RF que permiten al equipo implementar varias aplicaciones en paralelo, tantas como permita el número de conectores RF del instrumento.

Tiene un PC integrado que trabaja con el sistema operativo Windows XP que simplifica la manejabilidad del sistema. Desde aquí se puede ejecutar el software de aplicación del instrumento, que incorpora una interfaz gráfica para manipular el instrumento y desde la que es posible seleccionar la función que va a realizar y ser configurado según corresponda (se verá en detalle en el siguiente apartado).

El software proporciona unos valores de configuración prefijados para cada una de las aplicaciones posibles, que ajusta todos los parámetros según los requerimientos de cada aplicación para simplificar con ello la labor del usuario.



Figura 4.2. Rohde & Schwarz CMW500.



---

## CAPÍTULO 5

---

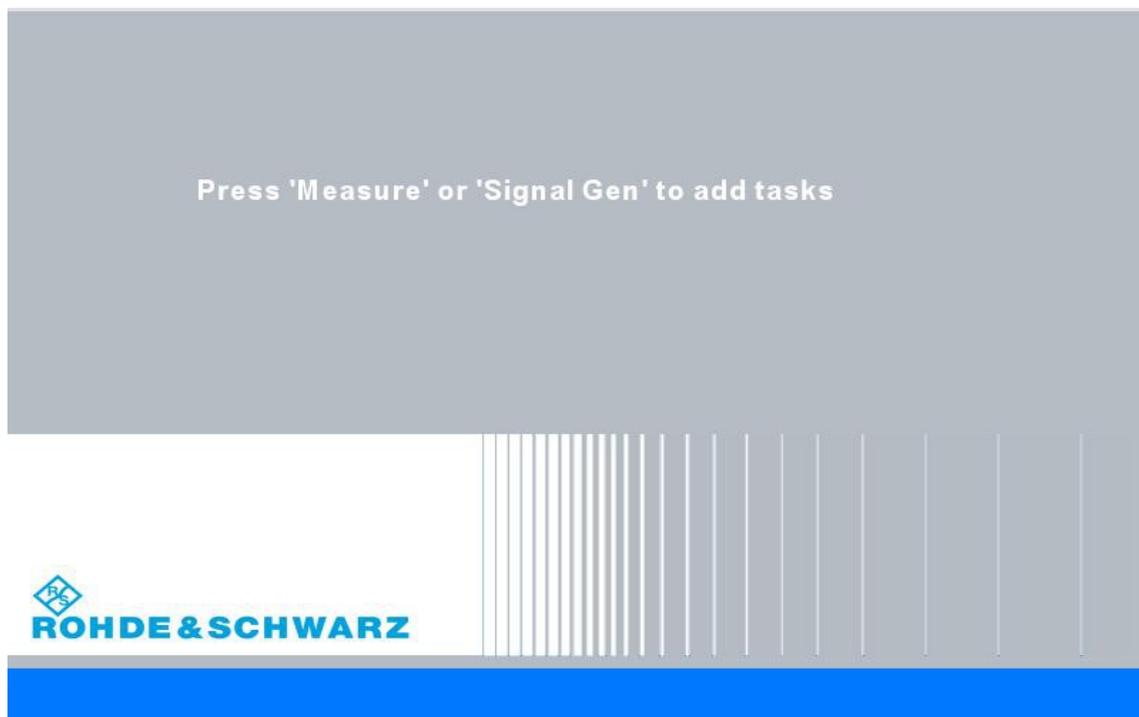
### Herramientas software del R&S CMW500

Este capítulo trata sobre el programa que integra el instrumento. Vamos a comenzar explicando el programa desde su inicio, para ver las opciones que ofrece, y después vamos a describir los elementos del programa que hay que tener en cuenta para su configuración.

#### 5.1. Entorno software

Al arrancar el programa, la primera pantalla de la aplicación del instrumento muestra dos opciones a elegir (figura 5.1). Estas opciones van a determinar la función que va a realizar el R&S CMW500.

- Con la primera opción, el R&S CMW500 va a actuar como analizador del sistema.
- Con la segunda opción, el R&S CMW500 va a actuar como un generador de señal de radiofrecuencia de un sistema general o para un estándar específico.



*Figura 5.1. Primera pantalla del programa.*



### 5.1.1. R&S CMW500 como analizador

En este paso se muestran las posibles medidas que se pueden realizar (figura 5.2).

- La opción “General Purpose RF” permite medir una serie de parámetros de la señal de RF generada por el instrumento, cuando éste actúa como generador. En el subapartado “Measurement 1” se muestran los resultados correspondientes al generador 1, y en “Measurement 2” los resultados del generador 2.
- En “GSM” vamos a analizar el enlace ascendente en transmisión y recepción. Para ello tenemos varios modos de adquisición de datos: El modo “RX Measurement” se utiliza para capturar parámetros característicos en recepción como el BER. El modo “Multi Evaluation” se utiliza para realizar un análisis múltiple en transmisión y recepción. Permite visualizar los resultados en todas las modulaciones y espectros y extraer resultados estadísticos de todos ellos, medir el tiempo de referencia según el número de símbolos, y puede llegar a medir y almacenar la potencia de hasta 8 slot consecutivos. Su ventaja es que utiliza un generador adicional en recepción para poder hacer aplicaciones de señal en paralelo.
- Las medidas que se realizan al seleccionar la opción “Extended BLER” para “LTE” son especialmente adecuadas para evaluar las características y el rendimiento del dispositivo bajo prueba como receptor, a bajos niveles de potencia de RF. Para ello el instrumento se encarga de transmitir una serie de datos al dispositivo bajo prueba, y en función de los ACK y NACK recibidos, determina el BLER y throughput del canal.
- En “WCDMA” también disponemos de una serie de gráficas para representar los resultados del análisis en transmisión, y en recepción el análisis se fundamenta en parámetros antes mencionados como BER, BLER, y también DBLER, con el fin de obtener el porcentaje de error en la comunicación. En este caso el modo “Multi Evaluation” puede medir y almacenar hasta 120 slot consecutivos en cada ciclo (8 tramas).
- Para la tecnología WIMAX y WLAN, los resultados se van a basar en el análisis del parámetro PER en función del número de tramas transmitidas.

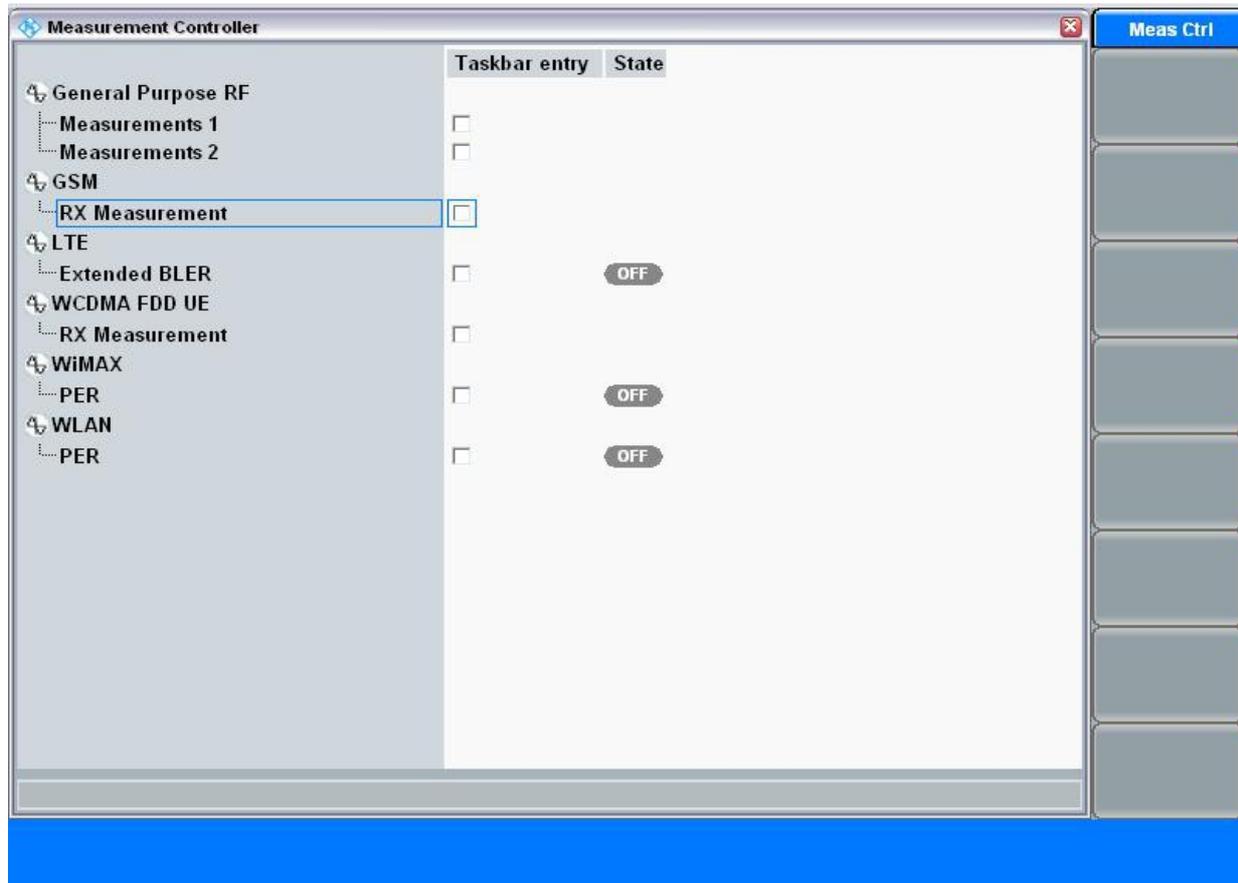


Figura 5.2. R&S CMW500 como analizador.

### 5.1.2. R&S CMW500 para aplicaciones de radiofrecuencia.

Esta opción permite seleccionar el papel que va a representar el R&S CMW500 en el sistema (figura 5.3).

- Si seleccionamos la primera opción, el R&S CMW500 va a actuar como un generador de señal de radiofrecuencia genérico que puede proporcionar una señal RF de frecuencia constante o de frecuencias y niveles configurables, con el fin de realizar pruebas con ella. También se puede modular una señal a partir de un archivo que represente una forma de onda. Podemos implementar dos generadores de este tipo al mismo tiempo.
- Si elegimos la segunda opción, el R&S CMW500 va a simular la función de una estación base móvil sobre el estándar GSM. Con esta opción se puede realizar llamadas por conmutación de circuitos y transmitir paquetes de datos por conmutación de paquetes sobre el sistema avanzado de GSM, GPRS.
- Para desarrollar comunicaciones más avanzadas tenemos la siguiente opción. En este caso el R&S CMW500 va a representar la función de una estación base móvil apoyada sobre el estándar LTE.



- También podemos desarrollar comunicaciones de tercera generación con la opción “WCDMA FDD UE” donde el R&S CMW500 va a actuar como estación base móvil sobre UMTS.
- El R&S CMW500 también puede desarrollar comunicaciones sobre tecnologías no celulares como WIMAX y WLAN que podemos implementar seleccionando una de las dos últimas opciones.

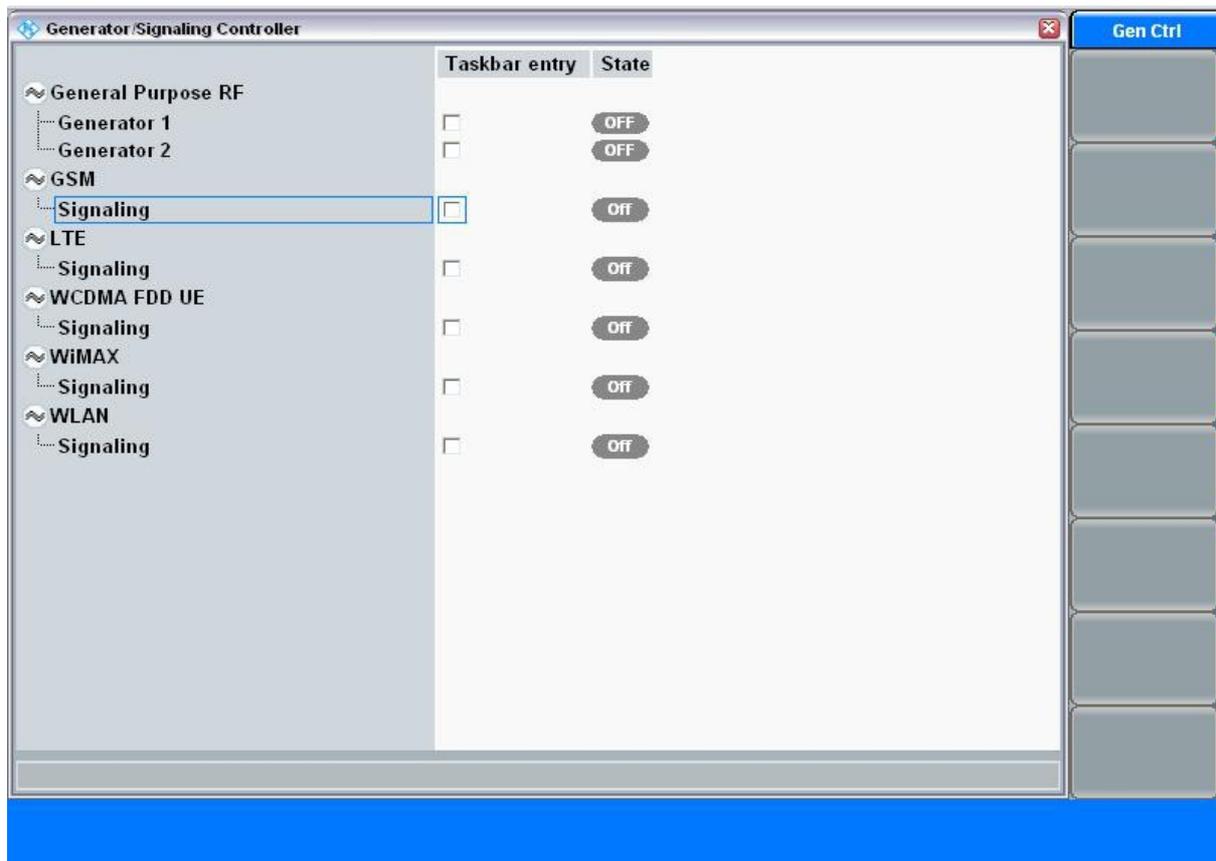


Figura 5.3. R&S CMW500 como generador/estación base.

### 5.1.3. Parámetros característicos

Cuando seleccionamos una de las opciones de los dos apartados anteriores, se determina la función que va a realizar el R&S CMW500 y la tecnología sobre la que se va a desarrollar. A continuación, todos los parámetros de la red móvil son automáticamente seleccionados por el R&S CMW500. Algunos de ellos pueden ser modificados por el usuario de la aplicación, a través de la interfaz gráfica que aparece automáticamente en pantalla específicamente para cada tecnología [3]. Vamos a describir los parámetros más significativos para cada comunicación, aunque también debemos tener en cuenta los parámetros de atenuación externa a la salida y entrada de la señal (descritos dentro del Anexo A.1.1. bajo el nombre de “Parámetros especiales. ATENUACIÓN EXTERNA”).



## Generador

- Escenario: entorno en el que se van a realizar las pruebas, el típico es el estándar.
- Conectores de entrada y salida del instrumento: se fija el camino por el que se va a enrutar la señal.
- Frecuencia: se determina la frecuencia de la señal que se va a generar.
- Atenuación externa a la salida: determina la atenuación de la señal en el camino de salida del instrumento.
- Modo en banda base.

## GSM

- Banda de frecuencias: se fija la frecuencia de operación del sistema.
- Dominio de paquetes conmutados activo: si queremos permitir la transferencia de paquetes de datos durante la conexión.
- Configuración automática de slot: determina un retardo de 3 slots en la comunicación en sentido ascendente con respecto a la descendente.
- Servicio de paquetes conmutados: el tipo de servicio determina si el canal va a ser simétrico o asimétrico, y en ese caso, el enlace que queremos maximizar.

## LTE

- Banda de frecuencias: determina la frecuencia de operación en cada enlace.
- Ancho de banda de la célula: fija la cantidad de información que se puede transmitir.
- Modulación en la conexión: por defecto es de tipo RMC.

## WCDMA

- Banda de frecuencias: determina la frecuencia de operación en cada enlace.
- Scrambling code: se selecciona el código de identificación/autenticación y además se puede seleccionar el canal físico.
- Dominio de paquetes conmutados activo: tiene el mismo significado que en GSM, se activa si queremos permitir la transferencia de paquetes de datos durante la conexión.
- Conexión : se selecciona el tipo de conexión usada por el dispositivo bajo prueba al iniciar la comunicación (voz, sólo SRB o sólo para realizar pruebas)
  - Tipos de conexión: en *RMC* sólo se realiza la conexión en el dominio CS (conmutación de circuitos); en *HSPA* sólo se realiza la conexión en el dominio PS con HSDPA+HSUPA (conmutación de paquetes); en *RMC+HSPA* utiliza RMC en conmutación de circuitos y HSDPA+HSUPA en conmutación de paquetes; en *Cell Fach* la conexión se define mediante 3GPP TS 34.108.



- SRB Data Rate: este parámetro depende del tipo de conexión seleccionado, y su función es determinar la tasa de bits SRB (Signaling Radio Bearer). La configuración se aplica a conexiones de voz, video y “SRB only”. Para las conexiones orientadas a realizar pruebas de tipo “RMC” se fija un valor por defecto de 2,5 Kbps para el enlace ascendente y descendente, y para el tipo “HSPA” se fija a 3,4 Kbps.

#### **WIMAX:**

- Frecuencia de la señal.
- Ancho de banda: se determina la cantidad de información que se puede transmitir.
- Configuración IP de red
  - Se determina la modulación de la señal y la velocidad de codificación.
  - Se selecciona el protocolo de asignación de los parámetros de red.

#### **WLAN:**

- Frecuencia de la señal.
- Modo de operación: se determina la función del instrumento como Estación (ST) o Punto de acceso (AP).
- Configuración de generador de paquetes: se selecciona el protocolo de transmisión ICMP o UDP.

### **5.1.4. DAU (Data Application Unit)**

Es un componente interno del R&S CMW500 que se utiliza en las aplicaciones donde se va a realizar un intercambio de paquetes de datos. Proporciona servicios internos IP como transferencia de archivos por FTP (File Transfer Protocol), navegación web a través de HTTP (Hypertext Transport Protocol), y soporte IMS (IP Multimedia Subsystem) y DNS [29]. También ejerce como puerta de enlace hacia redes de área local externas conectadas al R&S CMW500 y así encaminar los paquetes recibidos por dicha red (objetivo de nuestra aplicación).

Para configurar los parámetros de red de este componente siempre debemos seguir los mismos pasos. Se accede al diálogo de configuración a través de la tecla “Set up” situada en la parte frontal del R&S CMW500, y seguidamente, dentro de “System”, se confirma la opción que aparece en pantalla “Go to config” haciendo un *click* con el ratón (figura 5.4).

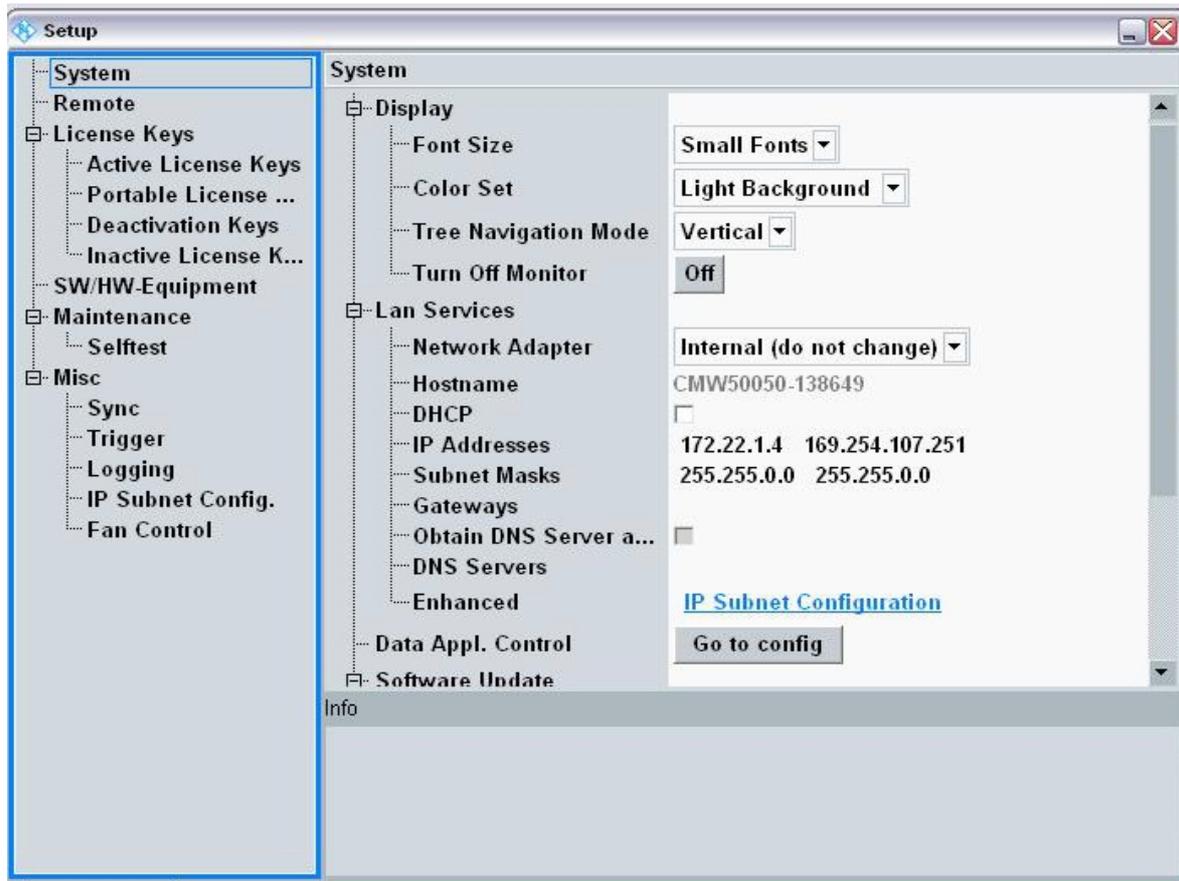


Figura 5.4. Acceso al diálogo de configuración de la DAU.

Hay dos formas distintas de ajustar los parámetros, dependiendo del entorno de trabajo:

- La primera se trata de una configuración básica seleccionando “Automatic R&S CMW500 Network”. Se utiliza cuando sólo se va a establecer una comunicación entre el dispositivo bajo prueba y el R&S CMW500 (figura 5.5).

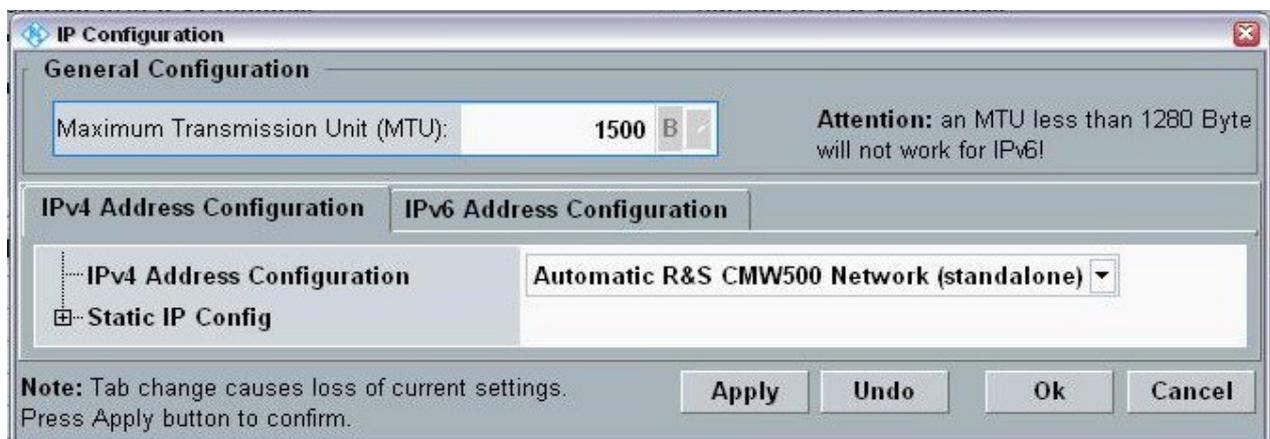
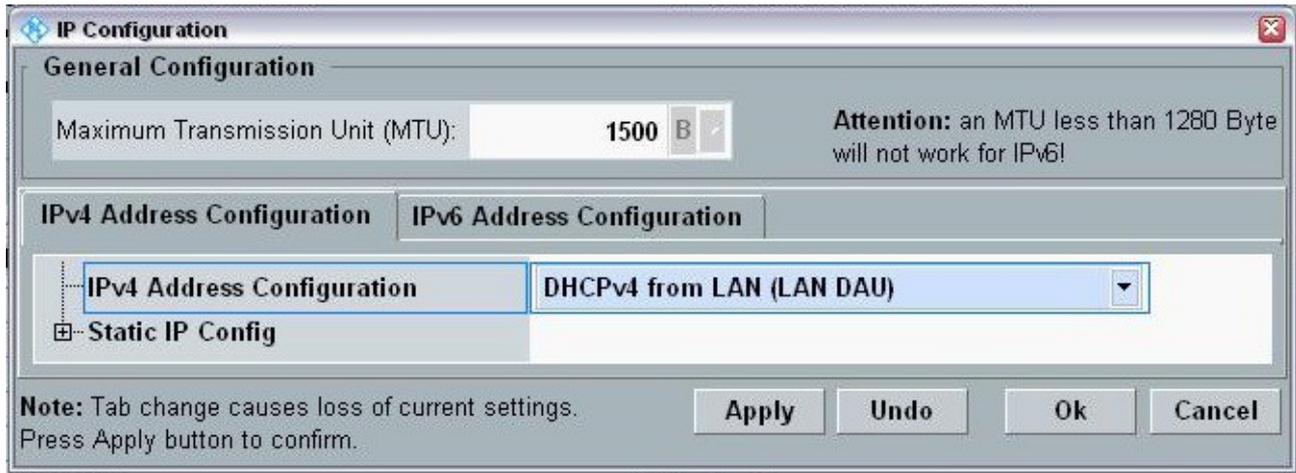


Figura 5.5. Configuración IP automática.



- b) La segunda opción se utiliza cuando la comunicación se va a establecer entre el dispositivo bajo prueba y un destino final que se encuentra en una red local externa. En este caso, primero se conecta el instrumento a la red local externa por Ethernet a través de la interfaz denominada “LAN DAU”, situada en el panel trasero del instrumento. Y segundo, se configuran los parámetros de red del componente DAU por asignación dinámica a través del protocolo DHCP para que se ajusten a la red local a la que el instrumento está conectado. De esta manera, el instrumento puede actuar como puerta de enlace entre los dos extremos (figura 5.6).



*Figura 5.6. Configuración IP por protocolo DHCP.*

Si aplicamos los cambios realizados en cada caso, podremos ver cómo quedan configurados los parámetros del componente:

- a) En el primer caso, los parámetros se configuran según la red interna del componente 172.22.0.0/16 (figura 5.7).

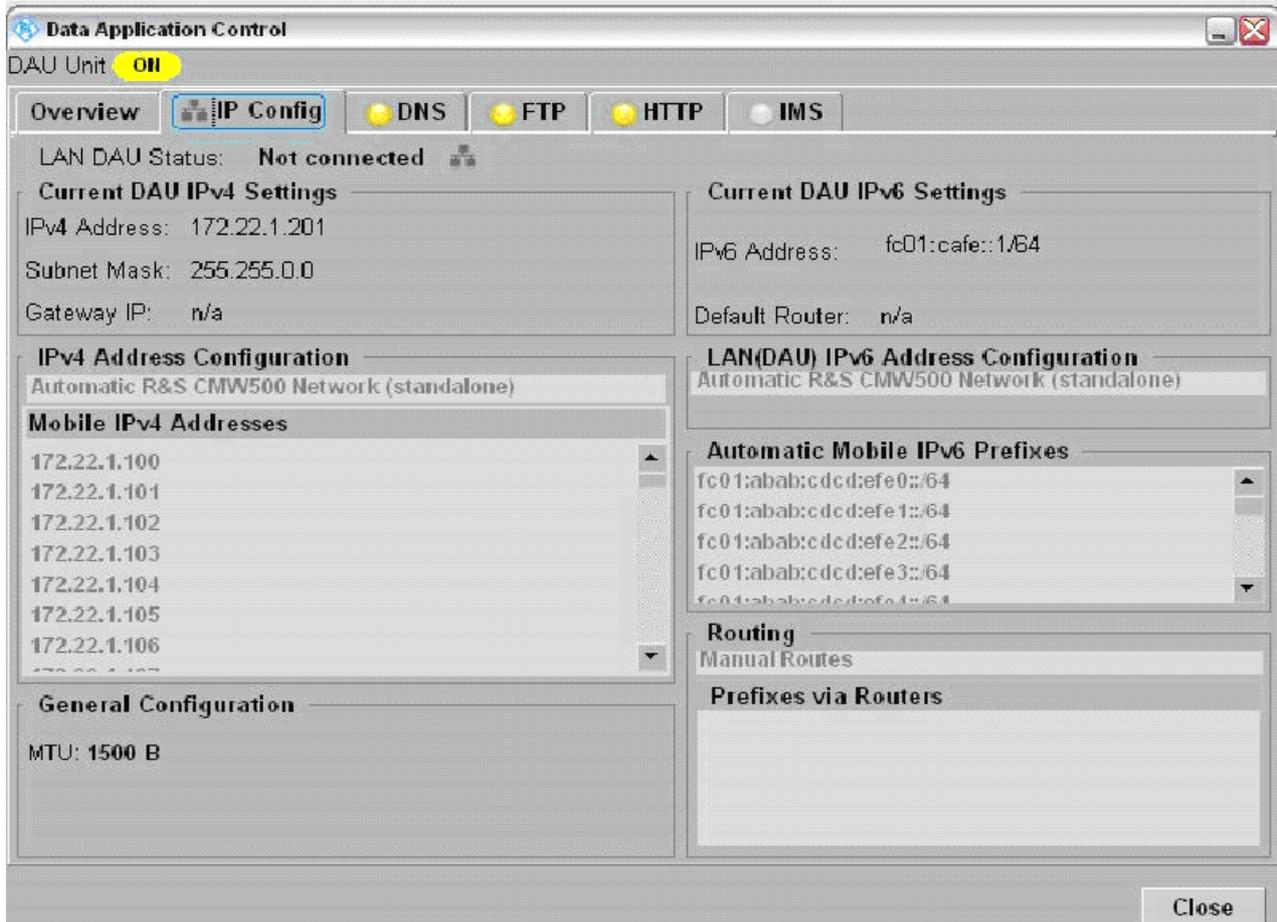


Figura 5.7. Ejemplo de configuración automática.



- b) En el segundo caso, hemos conectado el componente a la red local externa del laboratorio para realizar las pruebas, por lo que se ha asignado una IP, máscara de red y puerta de enlace correspondientes al rango 192.168.1.0/24 (figura 5.8).

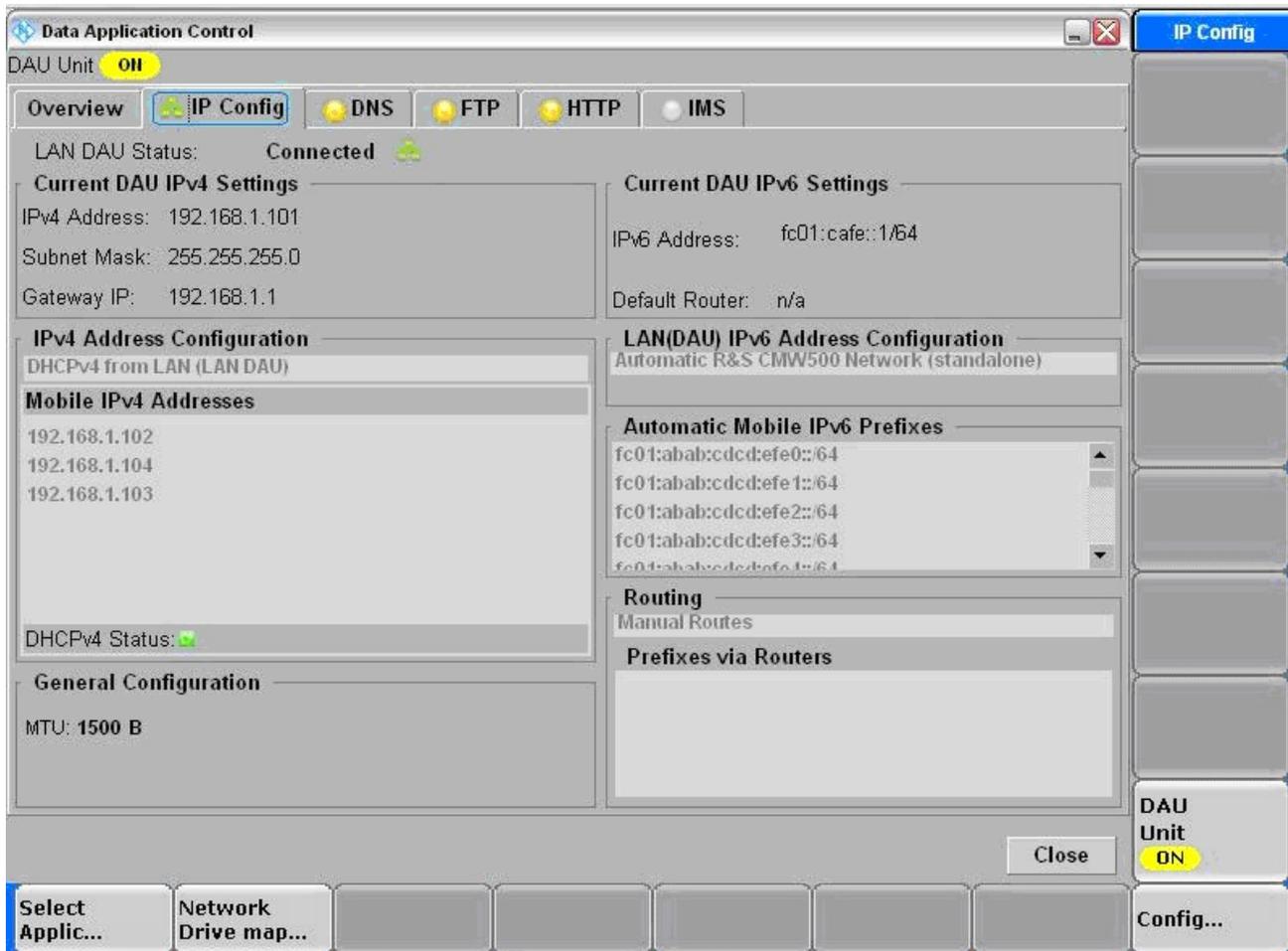


Figura 5.8. Ejemplo de configuración por protocolo DHCP.



---

## CAPÍTULO 6

---

### **Establecimiento de una comunicación inalámbrica mediante el R&S CMW500.**

En este capítulo, vamos a tratar dos ejemplos diferentes de establecimiento de comunicación inalámbrica, una sobre el estándar GSM, y la otra sobre UMTS. Vamos a mostrar la configuración de los parámetros que hemos modificado y los pasos a seguir para establecer la conexión punto-a-punto entre el R&S CMW500 y el dispositivo bajo prueba.

#### **6.1. Ejemplo de una comunicación inalámbrica GSM**

##### **6.1.1. Configuración de la comunicación inalámbrica GSM**

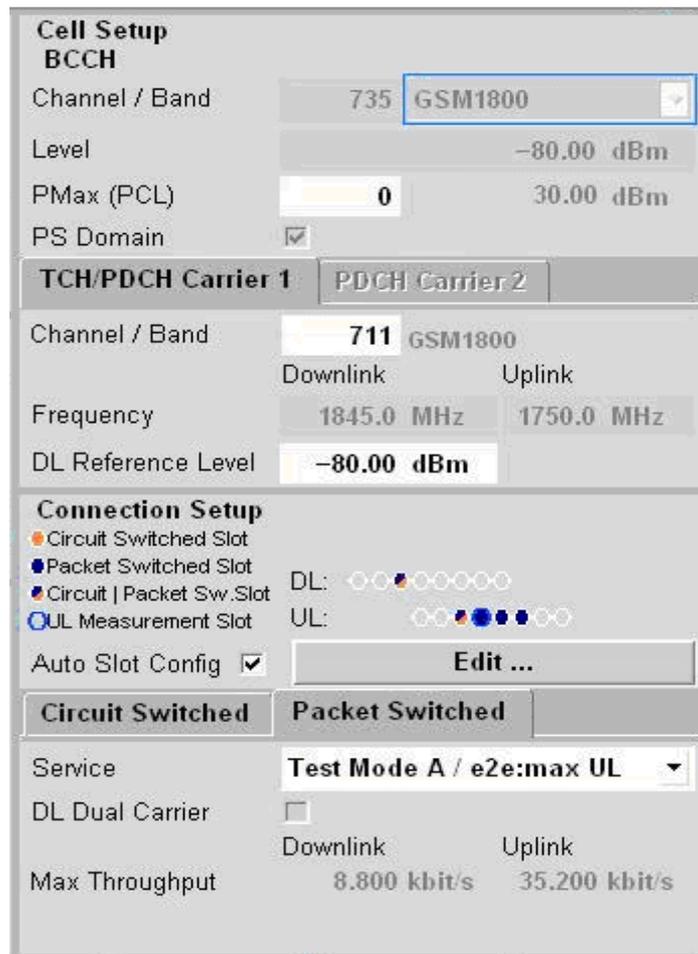
Siguiendo los pasos que describimos en el Anexo A.2.5 (llegamos hasta el *Paso 6*) para llevar a cabo la configuración del instrumento R&S CMW500 según las características de nuestro entorno de aplicación:

- Banda de frecuencias: 1800 MHz.
- Canal de comunicación: Por defecto.
- Configuración de slot: Automática.
- Dominio de conmutación de paquetes: Activo
- Servicio de conmutación de paquetes: Modo de prueba A/e2e: maximizar UL.
- Atenuación externa a la entrada: 35.9 dB.
- Atenuación externa a la salida: 80 dB.
- Distancia: 1.5 m.



*Paso 1*

Ajustamos los parámetros más significativos de la red, que son los que se muestran en la interfaz gráfica que aparece en pantalla:



**Cell Setup**  
**BCCH**

Channel / Band: 735 GSM1800

Level: -80.00 dBm

PMax (PCL): 0 30.00 dBm

PS Domain:

**TCH/PDCH Carrier 1** | PDCH Carrier 2

Channel / Band: 711 GSM1800

Downlink: 1845.0 MHz | Uplink: 1750.0 MHz

DL Reference Level: -80.00 dBm

**Connection Setup**

- Circuit Switched Slot
- Packet Switched Slot
- Circuit | Packet Sw. Slot
- UL Measurement Slot

DL: ○○●○○○○○  
UL: ○○○●●○○○

Auto Slot Config:  Edit ...

**Circuit Switched** | Packet Switched

Service: Test Mode A / e2e:max UL

DL Dual Carrier:

Max Throughput: Downlink 8.800 kbit/s | Uplink 35.200 kbit/s

*Figura 6.1. Parámetros específicos de una comunicación GSM.*



Para asegurarnos de que está activo el servicio de paquetes conmutados (PS) y así, sea posible la transferencia de paquetes de datos durante la conexión, accedemos al diálogo de configuración de la aplicación haciendo *click* sobre “*config*”. Además, en el subapartado correspondiente a “Packet Switched” fijamos el número de PDUs a 0, puesto que algunos dispositivos bajo prueba interpretan este valor con el hecho de poder transmitir un número indefinido de PDUs (y así la comunicación no finalice ante un número determinado de PDUs).

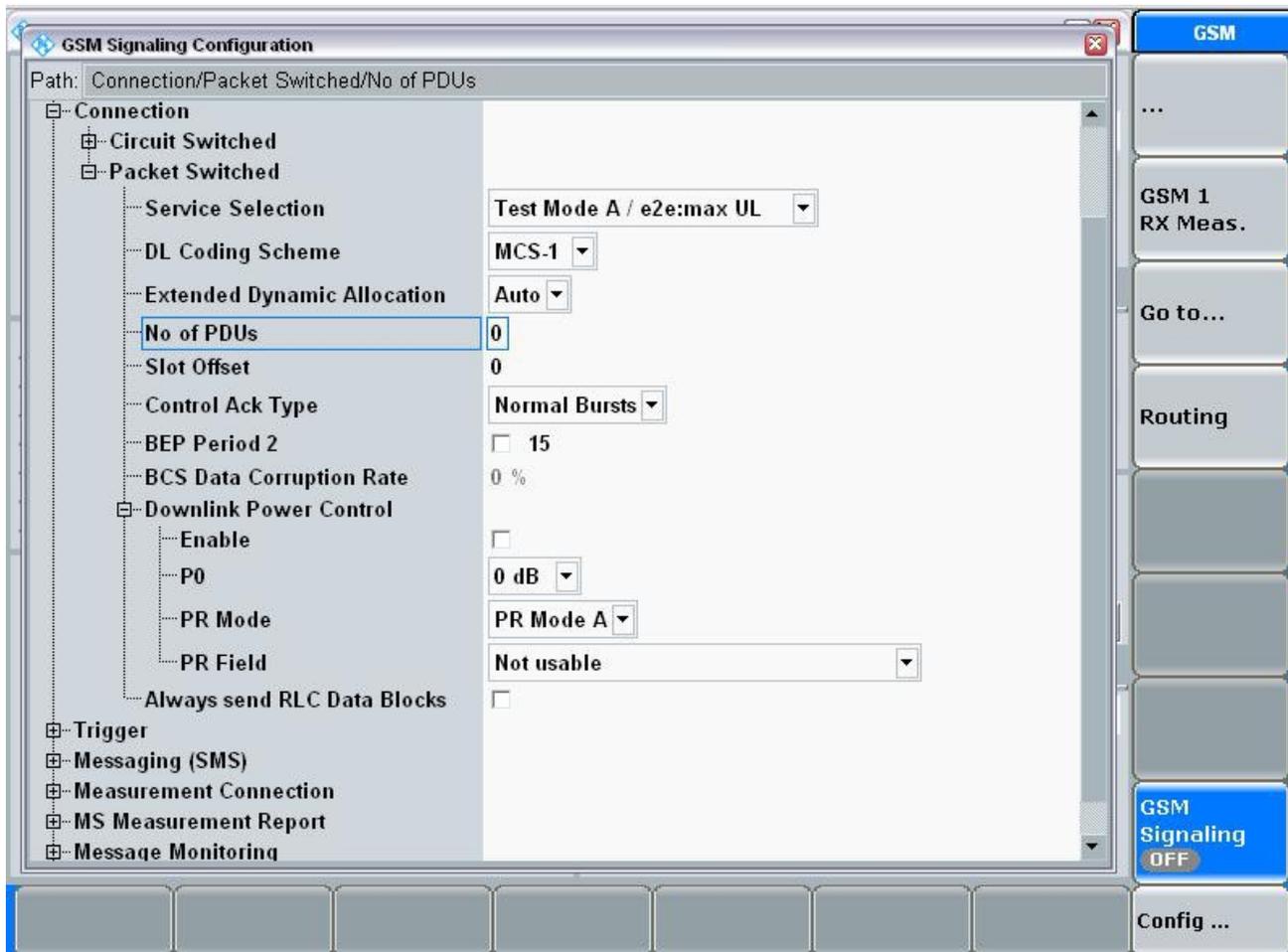


Figura 6.2. Configuración del servicio PS.

## Paso 2

Para configurar el conector RF 1 COM como puerto de entrada y salida del sistema (siguiendo el mismo ejemplo que se muestra en el Anexo A.1.1, apartado “Puertos RF”), y los parámetros de atenuación externa a la entrada y a la salida del instrumento según los valores que hemos mencionado al comienzo del apartado, hacemos *click* sobre la entrada “*Routing*” contenida en la barra vertical del extremo derecho. Automáticamente, aparecerá una barra horizontal sobre el marco inferior de la pantalla que va a contener una serie de entradas a través de las cuales, se pueden modificar dichos parámetros.

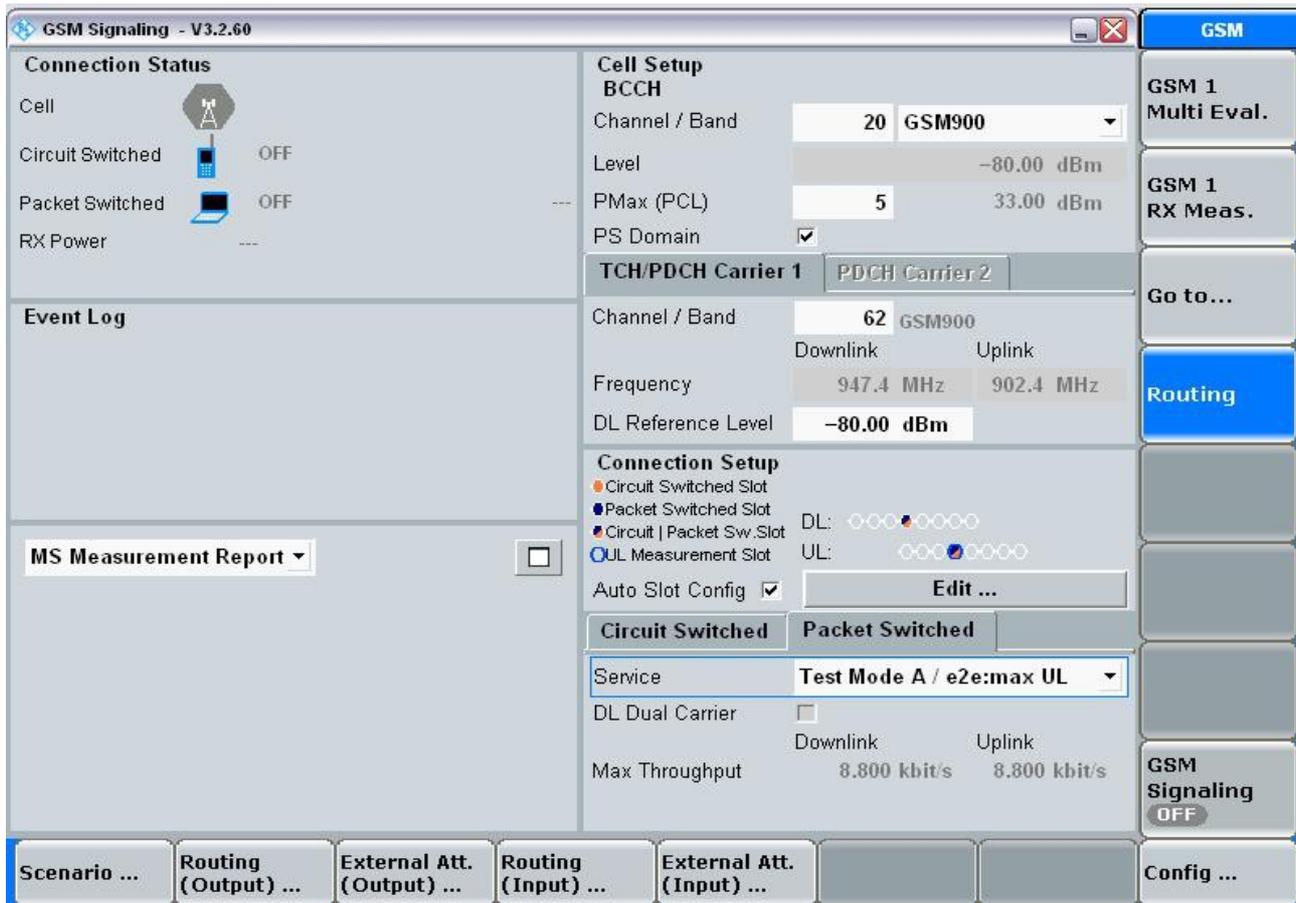


Figura 6.3. Configuración de los parámetros de RF.

### Paso 3

Por consiguiente, accedemos a la configuramos IP del componente DAU presionando la tecla "SETUP". En la nueva ventana que aparece, buscamos dentro del apartado "system" el subapartado "Data Appl. Control", para hacer *click* sobre "Go to config" y después sobre "config". Seleccionamos el modo de configuración por asignación dinámica, ya que el instrumento está conectado a la red del laboratorio (que es donde se encuentra nuestro servidor). Aplicamos los cambios haciendo *click* sobre "Apply" y cerramos el diálogo con un *click* en "Ok". Como podemos ver, el resultado de su configuración queda de la misma manera que hemos visto en el apartado 5.1.4., sección b (figura 5.8).

### Paso 4

El sistema ya está configurado y preparado para realizar la función de una estación base móvil de GSM. Para activar la aplicación hacemos *click* sobre la entrada "GSM Signaling", contenida en la barra vertical derecha que inicialmente está en "OFF" (figura 6.4. a). Luego, presionamos la tecla "ON/OFF" y vemos cómo su valor pasa a "ON", indicando que la aplicación está activada y el R&S CMW500 está actuando como una estación base móvil de GSM (figura 6.4. b).



The screenshot shows the GSM Signaling V3.2.60 application interface. The 'GSM Signaling' button at the top right is blue and labeled 'OFF'. The 'Connection Status' section shows 'Circuit Switched' and 'Packet Switched' both as 'OFF'. The 'Event Log' is empty. The 'MS Measurement Report' is also empty. The 'Cell Setup' section shows 'Channel / Band' as 20 GSM900, 'Level' as -80.00 dBm, 'PMax (PCL)' as 5 (33.00 dBm), and 'PS Domain' checked. The 'TCH/PDCH Carrier 1' and 'PDCH Carrier 2' tabs are visible. The 'Connection Setup' section shows 'Circuit Switched Slot' selected, 'DL' and 'UL' slot indicators, and 'Auto Slot Config' checked. The 'Circuit Switched' and 'Packet Switched' tabs are visible. The 'Service' dropdown is set to 'Test Mode A / e2e:max UL'. The 'DL Dual Carrier' checkbox is unchecked. The 'Max Throughput' section shows 'Downlink' and 'Uplink' both at 8.800 kbit/s. The 'Routing' section is visible. The 'GSM Signaling' button at the bottom right is blue and labeled 'OFF'. The 'Config ...' button is at the bottom right.

Figura 6.4. a) Aplicación GSM Signaling desactivada.

The screenshot shows the GSM Signaling V3.2.60 application interface with GSM signaling activated. The 'GSM Signaling' button at the top right is blue and labeled 'ON'. The 'Connection Status' section shows 'Circuit Switched' and 'Packet Switched' both as 'ON'. The 'Event Log' shows four entries: '18:02:30 Cell On, Standard Cell Scenario', '18:02:10 IPv6 End-to-End disabled due to missing option', '18:02:10 IPv4 End-to-End enabled', and '18:02:10 Signaling Unit Startup'. The 'MS Measurement Report' is empty. The 'Cell Setup' section shows 'Channel / Band' as 20 GSM900, 'Level' as -80.00 dBm, 'PMax (PCL)' as 5 (33.00 dBm), and 'PS Domain' checked. The 'TCH/PDCH Carrier 1' and 'PDCH Carrier 2' tabs are visible. The 'Connection Setup' section shows 'Circuit Switched Slot' selected, 'DL' and 'UL' slot indicators, and 'Auto Slot Config' checked. The 'Circuit Switched' and 'Packet Switched' tabs are visible. The 'Service' dropdown is set to 'Test Mode A / e2e:max UL'. The 'DL Dual Carrier' checkbox is unchecked. The 'Max Throughput' section shows 'Downlink' and 'Uplink' both at 8.800 kbit/s. The 'Routing' section is visible. The 'GSM Signaling' button at the bottom right is blue and labeled 'ON'. The 'Config ...' button is at the bottom right. The 'CS Connect', 'PS Connect', and 'Send CS SMS' buttons are visible at the bottom.

Figura 6.4. b) Aplicación GSM Signaling activada.



## 6.1.2. Establecimiento de la comunicación inalámbrica GSM.

Si hemos seguido todos los pasos anteriores, el R&S CMW500 ha quedado funcionando como una estación base de GSM, emitiendo información de control a todo el área del circuito para que el dispositivo bajo prueba pueda iniciar el proceso de conexión en cualquier momento (figura 6.5).

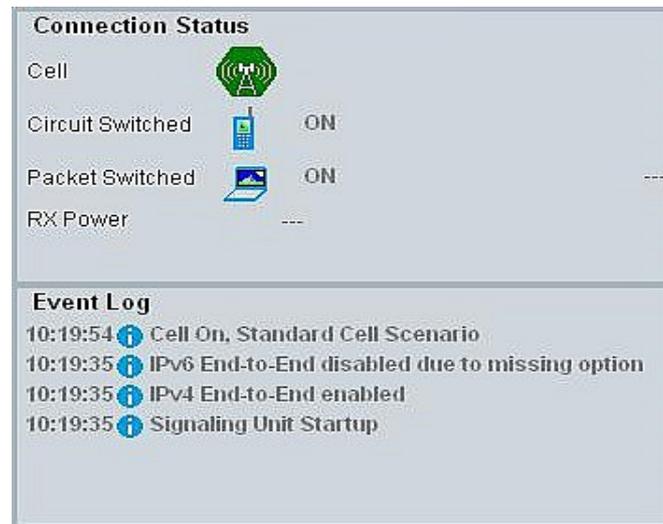


Figura 6.5. Ejemplo de estación base de GSM en funcionamiento.

En cuanto el dispositivo móvil es energizado, automáticamente es reconocido por la red, creandose un enlace lógico entre el terminal móvil y la estación base de ese área. Este paso es totalmente pasivo para el terminal, cuya única función es leer los datos que recibe de la estación base para registrarse y autenticarse a la red. A partir de ese momento el terminal queda sujeto a la red y en consecuencia, es llamado “attach” (figura 6.6).



Figura 6.6. Ejemplo de un dispositivo móvil unido a la red GSM.



Sólo es posible activar el contexto PDP (Packet Data Protocol) desde el dispositivo bajo prueba, que va a establecer definitivamente el enlace de comunicación entre los extremos de la comunicación. Además, el R&S CMW500 está configurado para asignar una dirección IP al dispositivo bajo prueba y así éste pueda acceder a las redes públicas de datos (figura 6.7).

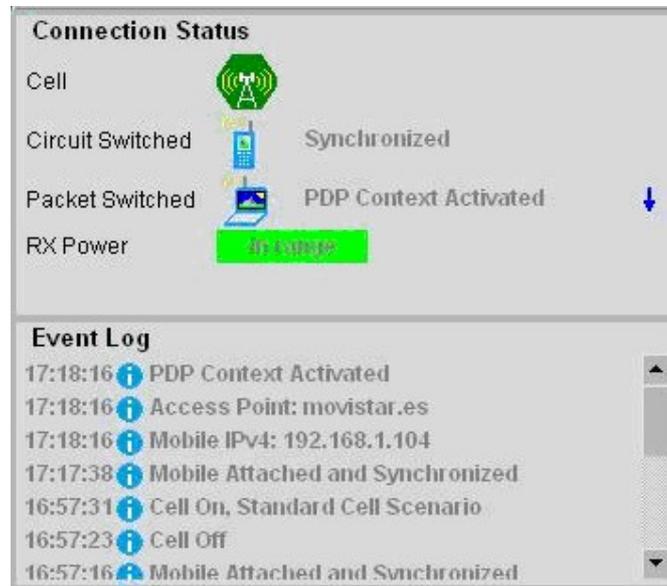


Figura 6.7. Ejemplo de establecimiento de una comunicación inalámbrica a través de GSM.

## 6.2. Ejemplo de una comunicación inalámbrica UMTS

### 6.2.1. Configuración de la comunicación inalámbrica UMTS

Siguiendo los pasos que describimos en el Anexo A.2.5., (llegamos hasta el *Paso 6*) para llevar a cabo la configuración del instrumento R&S CMW500 según las características de nuestro entorno de aplicación:

- Banda de frecuencias: 1.
- Canal de comunicación: Por defecto.
- Código de identificación: Por defecto.
- Dominio de conmutación de paquetes: Activo
- Conexión: Modo de prueba.
- Tipo de conexión: HSPA (esta comunicación no precisa dominio de conmutación de circuitos).
- Atenuación externa a la entrada: 35.9 dB.
- Atenuación externa a la salida: 80 dB.
- Distancia: 1 m.



*Paso 1*

Ajustamos los parámetros de la red UMTS más significativos, que son los que se muestran en la interfaz gráfica que aparece en pantalla:

Cell Setup			
Band	Band 1		
	Downlink	Uplink	
Channel	10563 Ch	9613 Ch	
Frequency	2112.6 MHz	1922.6 MHz	
Output Power	-98.75 dBm		
Total Output	-98.75 dBm		
Scrambling Code	0 hex	0 hex	
P-CPICH	-3.3 dB	Code	0
PS Domain	<input checked="" type="checkbox"/> Reduced Signaling	<input type="checkbox"/>	
Connection Setup			
UE term. Connect	Test Mode		
Type	HSPA		
<b>HSPA</b>			
Direction	HSDPA		
Data Pattern	PRBS9		
Error Insertion	<input type="checkbox"/>	10 %	

*Figura 6.8. Parámetros específicos de una comunicación UMTS.*



Para asegurarnos de que hemos habilitado la transferencia de datos punto-a-punto, accedemos al diálogo de configuración de la aplicación haciendo *click* sobre “*config*”. Esta acción no ha sido necesaria en la configuración de red de GSM porque la versión del software de GSM incluye esa opción siempre activada, y no se puede modificar.

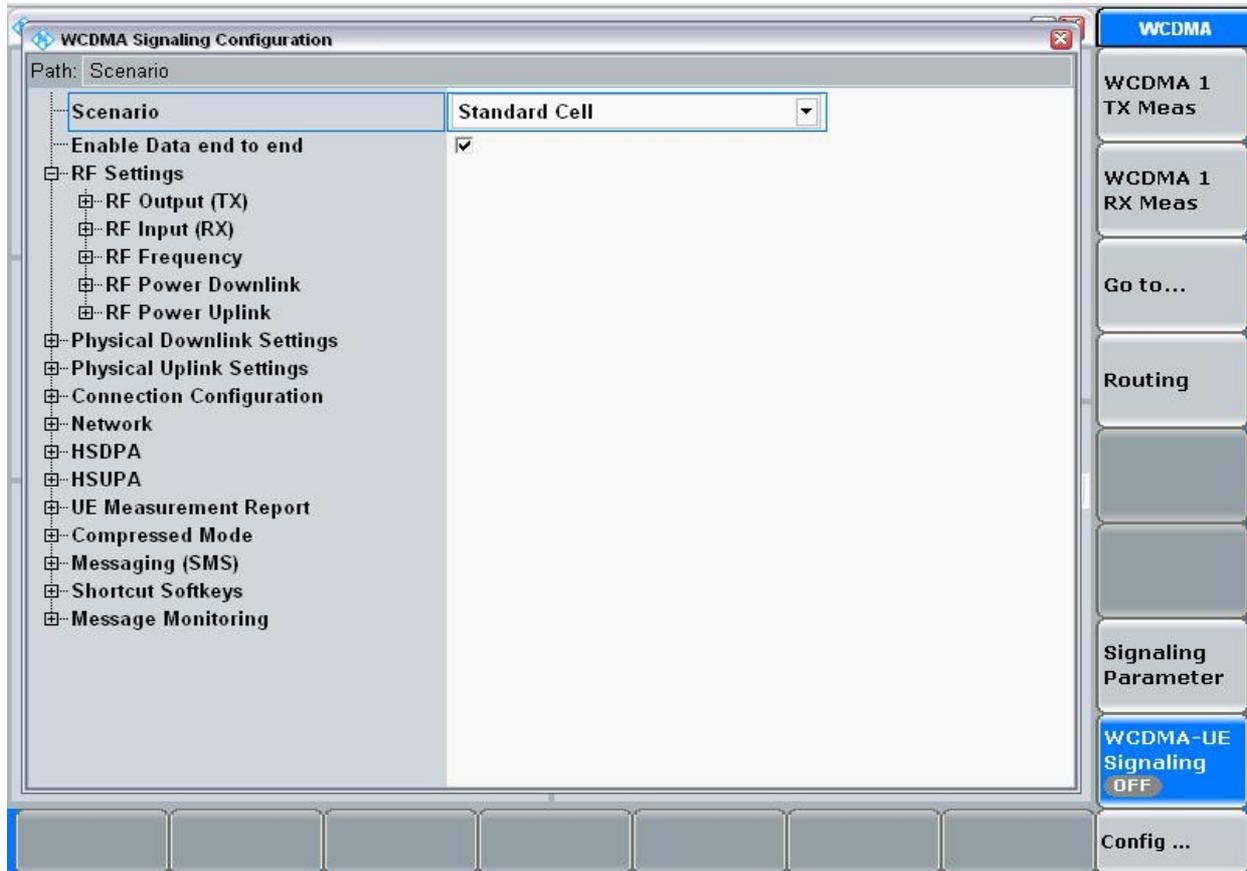


Figura 6.9. Determinación del escenario de pruebas.

### Paso 2

Configuramos el conector RF 1 COM como puerto de entrada y salida del sistema, igual que en el caso anterior (siguiendo el mismo ejemplo que se muestra en el Anexo A.1.1, en el apartado de “Puertos RF”), y los parámetros de atenuación externa a la entrada y a la salida del instrumento según los valores que hemos mencionado al comienzo del apartado. Para ello hacemos *click* sobre la entrada “*Routing*” contenida en la barra vertical derecha.

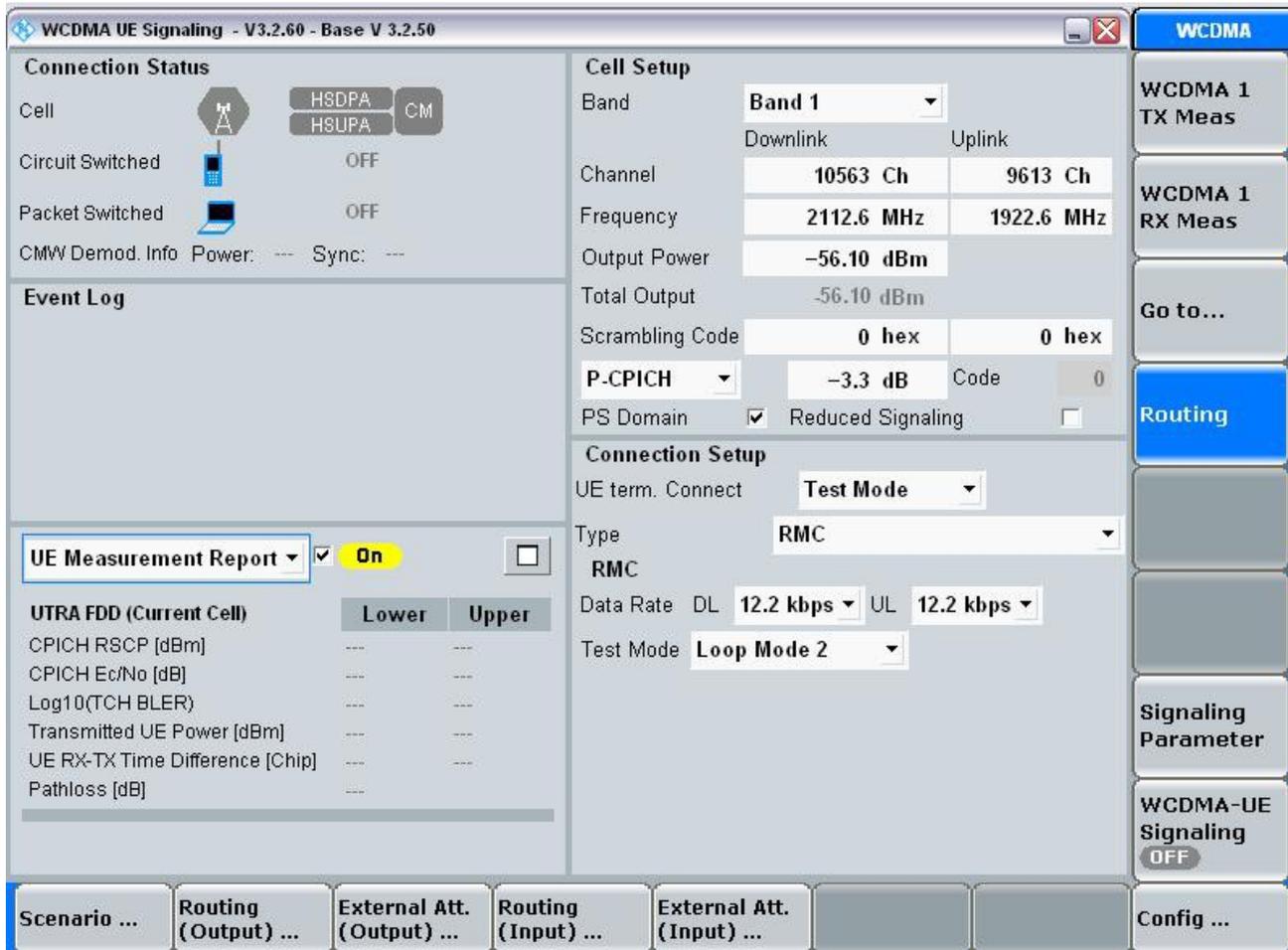


Figura 6.10. Configuración de los parámetros de RF.

### Paso 3

Accedemos a la configuración IP del componente DAU presionando la tecla "SETUP". En la nueva ventana que aparece buscamos dentro del apartado "system", el subapartado "Data Appl. Control", para hacer *click* sobre "Go to config" y después sobre "config". Seleccionamos el modo de configuración por asignación dinámica igual que en GSM, ya que el instrumento también está conectado a la red del laboratorio (que es donde se encuentra nuestro servidor). Aplicamos los cambios haciendo *click* sobre "Apply" y cerramos el diálogo con un *click* en "Ok". Y podremos ver el mismo resultado que en GSM (figura 5.8).

### Paso 4

Finalmente, activamos la aplicación. Para ello hacemos *click* sobre la entrada "WCDMA-UE Signaling", contenida en la barra vertical derecha que inicialmente está en "OFF" (figura 6.11.a). Luego presionamos la tecla "ON/OFF" y veremos que su valor cambia a "ON", indicando que la aplicación está activada y que el R&S CMW500 está actuando como una estación base móvil de UMTS (figura 6.11.b).



The screenshot shows the 'WCDMA UE Signaling - V3.2.60 - Base V 3.2.50' application window. The 'Connection Status' section shows 'Cell' as 'HSDPA' and 'CM' as 'CM'. 'Circuit Switched' and 'Packet Switched' are both 'OFF'. The 'Event Log' is empty. The 'UE Measurement Report' is set to 'On'. The 'Cell Setup' section shows 'Band 1', 'Channel 10563 Ch' (Downlink) and '9613 Ch' (Uplink), 'Frequency 2112.6 MHz' (DL) and '1922.6 MHz' (UL), 'Output Power -56.10 dBm', 'Total Output -56.10 dBm', 'Scrambling Code 0 hex' (DL) and '0 hex' (UL), 'P-CPICH -3.3 dB', and 'Code 0'. The 'Connection Setup' section shows 'UE term. Connect Test Mode', 'Type RMC', 'Data Rate DL 12.2 kbps' and 'UL 12.2 kbps', and 'Test Mode Loop Mode 2'. The 'WCDMA-UE Signaling' button is 'OFF'. The 'Routing' section is visible on the right.

Figura 6.11. a) Aplicación WCDMA-UE Signaling desactivada.

The screenshot shows the 'WCDMA UE Signaling - V3.2.60 - Base V 3.2.50' application window with signaling activated. The 'Connection Status' section shows 'Cell' as 'HSDPA' and 'CM' as 'CM'. 'Circuit Switched' and 'Packet Switched' are both 'ON'. The 'Event Log' shows a sequence of events: '18:11:57 Data end to end enabled', '18:11:57 Cell On, Standard Cell Scenario', '18:11:30 Signaling Unit Startup', '18:11:29 Waiting for Data Application Unit', and '18:11:29 WCDMA V3.2.60 Base V3.2.50'. The 'UE Measurement Report' is set to 'On'. The 'Cell Setup' section shows 'Band 1', 'Channel 10563 Ch' (Downlink) and '9613 Ch' (Uplink), 'Frequency 2112.6 MHz' (DL) and '1922.6 MHz' (UL), 'Output Power -56.10 dBm', 'Total Output -56.10 dBm', 'Scrambling Code 0 hex' (DL) and '0 hex' (UL), 'P-CPICH -3.3 dB', and 'Code 0'. The 'Connection Setup' section shows 'UE term. Connect Test Mode', 'Type RMC', 'Data Rate DL 12.2 kbps' and 'UL 12.2 kbps', and 'Test Mode Loop Mode 2'. The 'WCDMA-UE Signaling' button is 'ON'. The 'Routing' section is visible on the right. The 'Connect Test Mode' and 'Send SMS' buttons are visible at the bottom.

Figura 6.11. b) Aplicación WCDMA-UE Signaling activada.



## 6.2.2. Establecimiento de la comunicación inalámbrica UMTS.

Si hemos seguido todos los pasos anteriores, el R&S CMW500 ha quedado emulando un celda UTRAN, emitiendo información de control WCDMA a todo el área del circuito para que el dispositivo bajo prueba pueda iniciar el proceso de conexión en cualquier momento (figura 6.12).

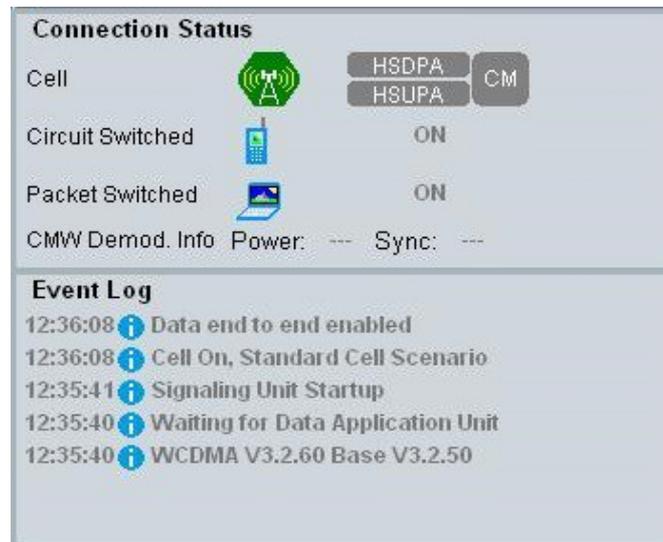


Figura 6.12. Ejemplo de estación base de GSM en funcionamiento.

En cuanto el dispositivo móvil es energizado, automáticamente es reconocido y registrado a la red. Ahora el dispositivo bajo prueba puede leer información relacionada con el dominio de conmutación de paquetes. Conforme a la configuración del instrumento, entiende que la red soporta el servicio de conmutación de paquetes e inicia el proceso denominado “attach” para quedar completamente sujeto a la red (figura 6.13).

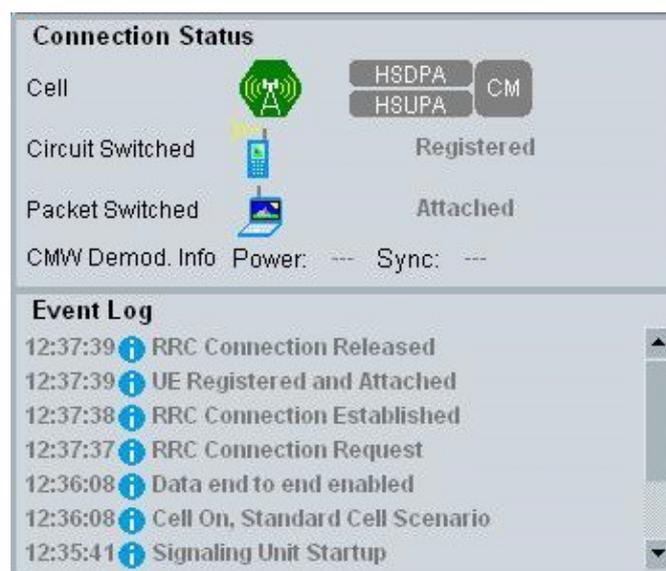


Figura 6.13. Ejemplo de un dispositivo móvil unido a la red.



Al igual que en GSM, sólo es posible activar el contexto PDP (Packet Data Protocol) desde el dispositivo bajo prueba, que va a establecer definitivamente el enlace de comunicación entre los extremos de la comunicación. Además, el R&S CMW500 también está configurado para asignar una dirección IP al dispositivo bajo prueba y así éste pueda acceder a las redes públicas de datos (figura 6.14).

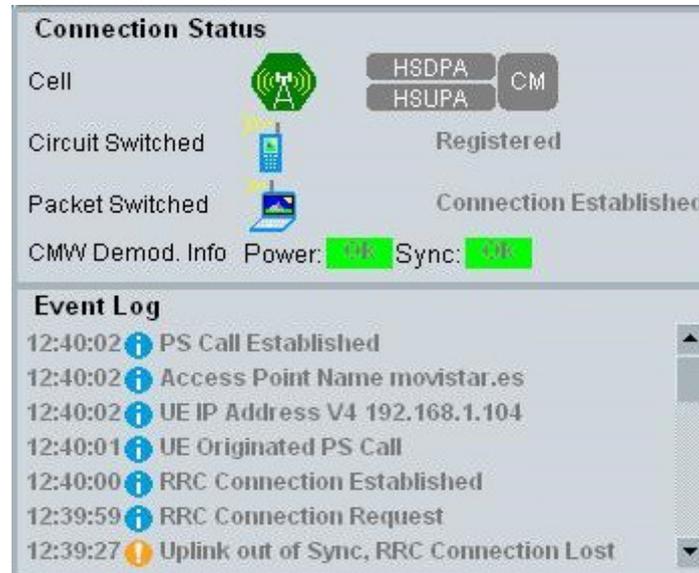


Figura 6.14. Ejemplo de establecimiento de una comunicación inalámbrica a través de UMTS.

### 6.3. Resultado de la comunicación inalámbrica.

En este apartado, vamos a utilizar la comunicación inalámbrica establecida mediante el R&S CMW500, para realizar una transferencia de paquetes de datos. Para evaluar si existe comunicación extremo a extremo, vamos a comprobar si se produce correctamente una transferencia de paquetes UDP. Para ello vamos a utilizar una aplicación cliente/servidor UDP muy sencilla, que integra dos archivos .jar cuya función es simular la acción de un transmisor y receptor UDP, respectivamente.

#### 6.3.1. Transferencia de paquetes a través de GSM.

- En primer lugar, evaluamos el enlace intermedio entre el dispositivo bajo prueba y el R&S CMW500, realizando la transferencia de paquetes de datos UDP desde el dispositivo móvil. Podemos comprobar que se ha producido algún error pero los datos llegan al instrumento (figura 6.15):

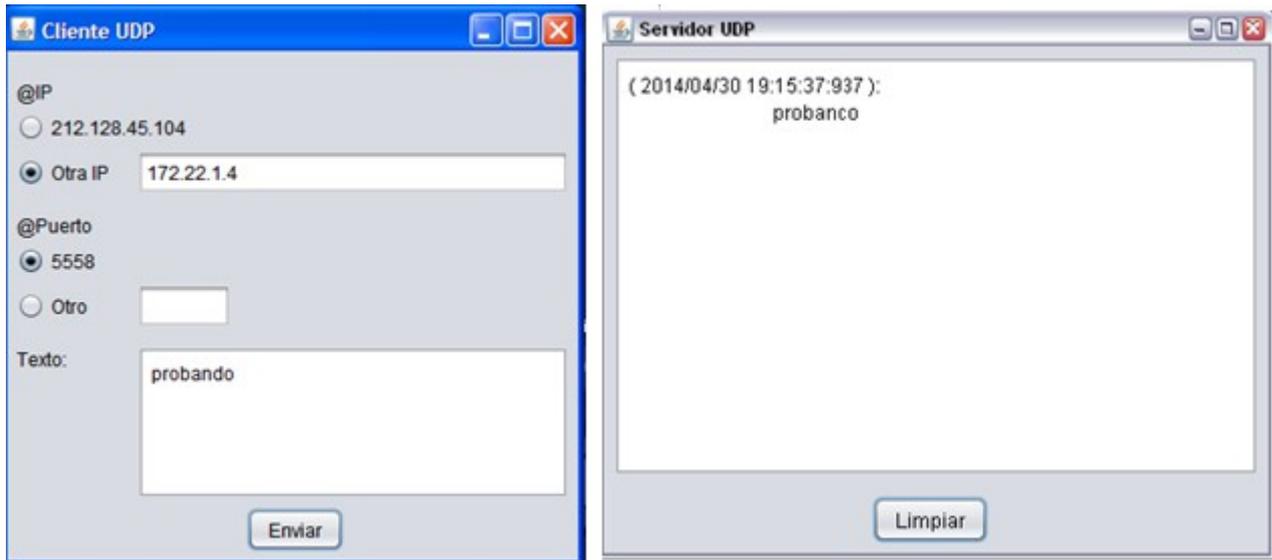


Figura 6.15. Transferencia de datos en sentido ascendente entre el enlace intermedio por GSM.

También podemos evaluar la conexión comprobando si hay acceso a uno de los servicios internos del instrumento, proporcionados por su componente DAU. Para ello hemos accedido a la página web que proporciona el servicio interno HTTP (figura 6.16).

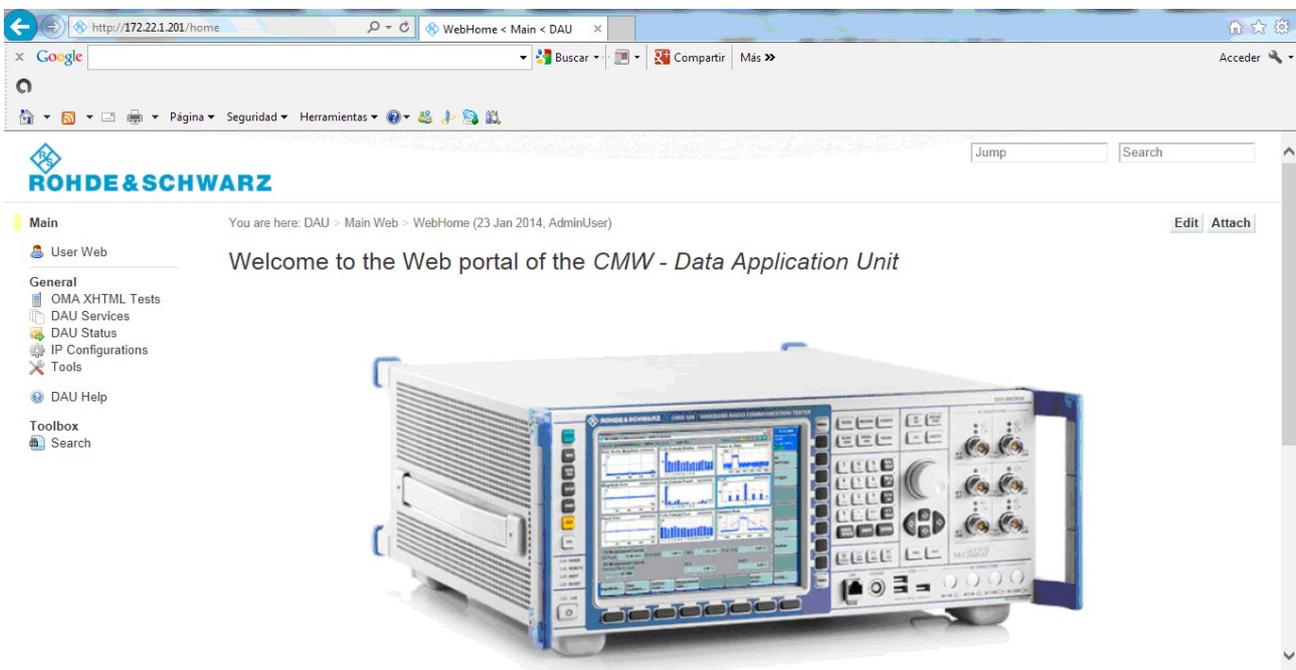


Figura 6.16. Resultado de acceso al servicio interno HTTP por GSM.



- En segundo lugar, evaluamos la comunicación extremo a extremo, y para ello realizamos una transferencia de paquetes UDP entre el dispositivo bajo prueba y el servidor remoto, desde el primero (figura 6.17):

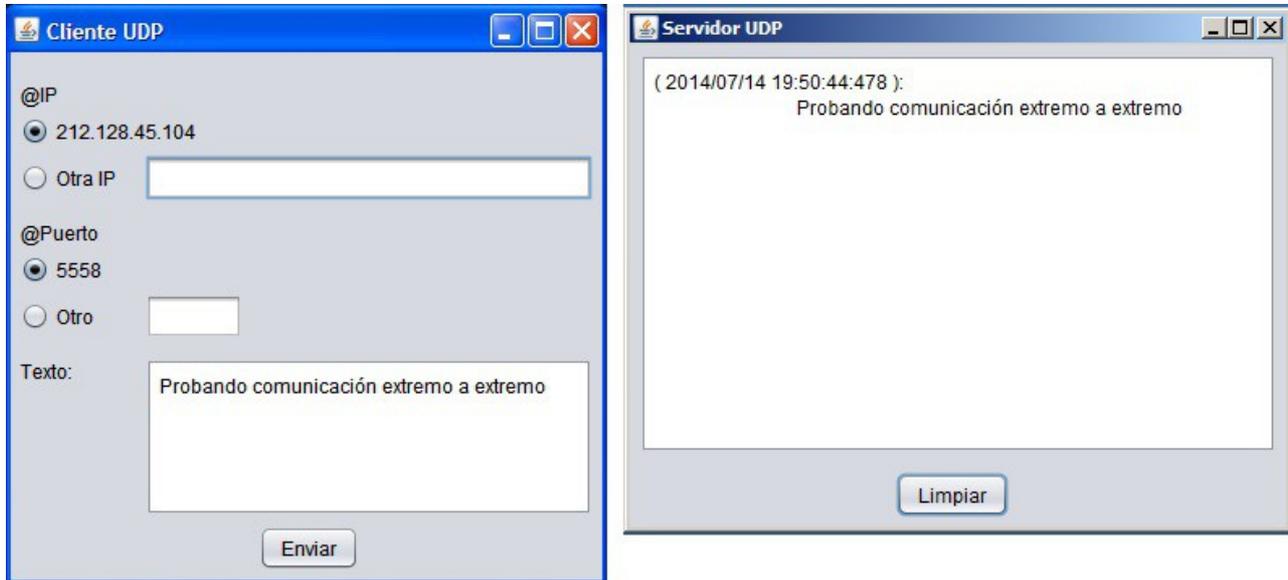


Figura 6.17. Transferencia de paquetes en sentido ascendente entre el servidor por GSM.

Hemos medido en el plano del dispositivo bajo prueba, la cantidad de tráfico que se ha intercambiado durante la conexión (figura 6.18). Como resultado, podemos distinguir un primer pico de transmisión durante el establecimiento de la conexión, seguido de un segundo pico producido por el intercambio de consecutivos mensajes de texto transmitidos a través de la aplicación UDP.

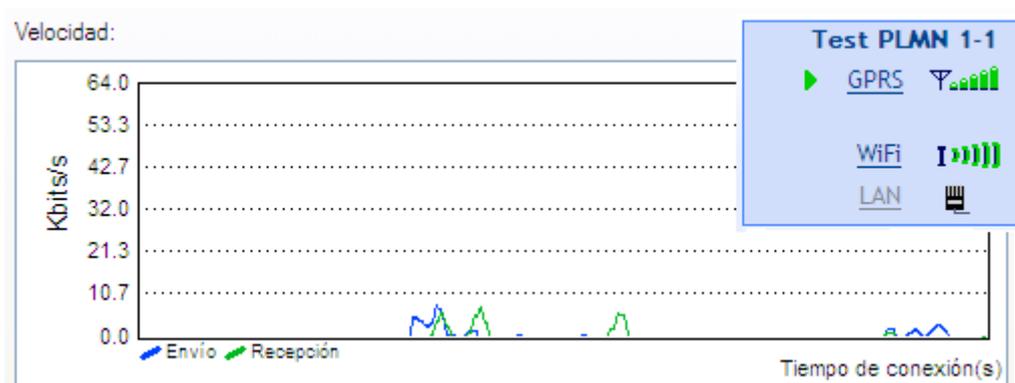


Figura 6.18. Picos de conexión durante la comunicación GSM con el R&S CMW500.



### 6.3.2. Transferencia de paquetes a través de UMTS.

- En primer lugar, evaluamos el enlace intermedio entre el dispositivo bajo prueba y el R&S CMW500, realizando una transferencia de paquetes de datos UDP desde el dispositivo móvil (figura 6.19):

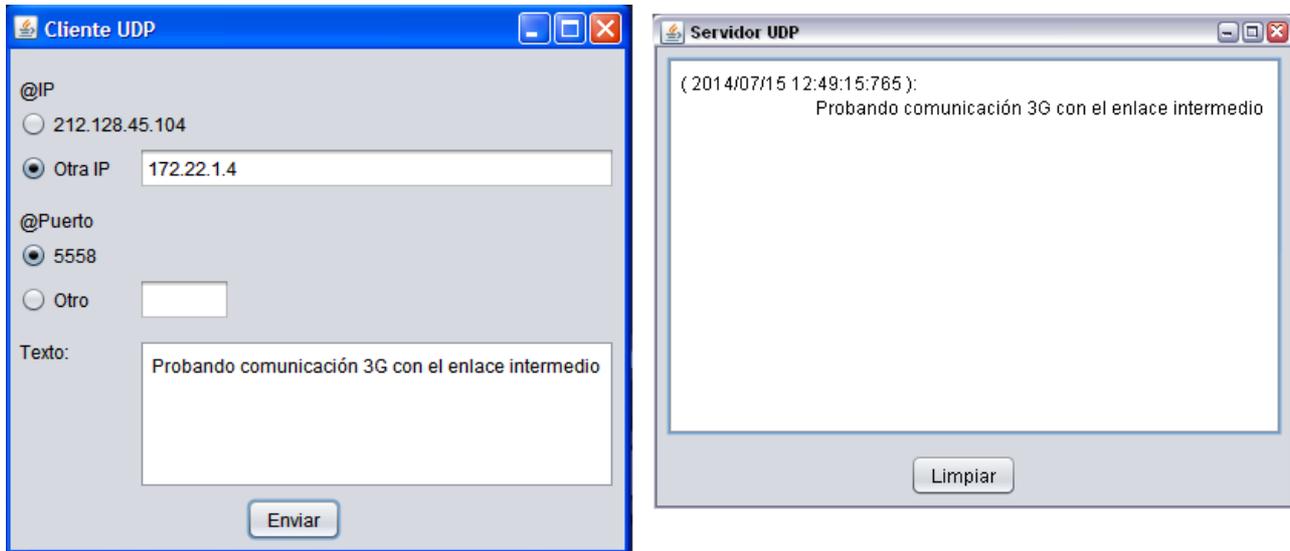


Figura 6.19. Transferencia de datos en sentido ascendente entre el enlace intermedio por UMTS.

- En segundo lugar, evaluamos la comunicación extremo a extremo entre el dispositivo bajo prueba y el servidor remoto, realizando una transferencia de paquetes de datos UDP entre ambos. Los datos serán transmitidos desde el dispositivo bajo prueba (figura 6.20):

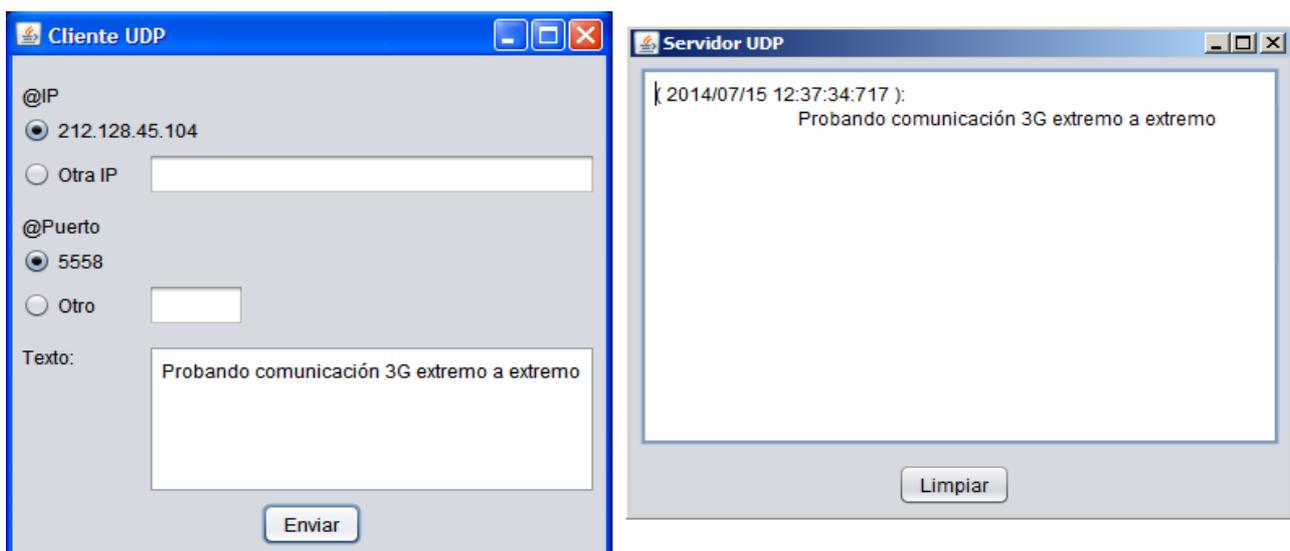


Figura 6.20. Transferencia de datos en sentido ascendente entre el servidor por UMTS.



Hemos medido en el plano del dispositivo bajo prueba, la cantidad de tráfico que se ha intercambiado durante la conexión, igual que en GSM (figura 6.21). En primer lugar, se puede distinguir un pico de transmisión durante el establecimiento de la conexión. Después hemos estado transmitiendo un flujo de mensajes de texto como el anterior, durante un tiempo prolongado (a través de la aplicación UDP) y hasta en dos ocasiones. Por eso se aprecia un segundo y tercer tramo más aplanado.

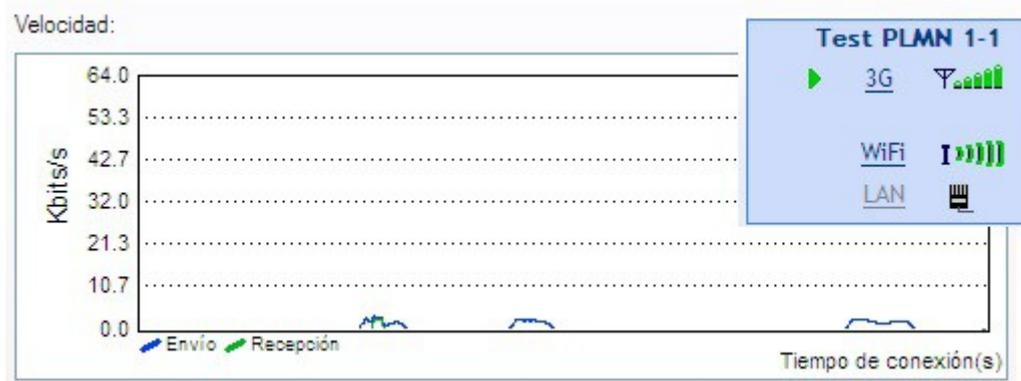


Figura 6.21. Picos de conexión durante la comunicación UMTS con el R&S CMW500.



---

## CAPÍTULO 7

---

### Conclusiones

#### 7.1. Resumen

Para desarrollar un enlace de comunicación a través del instrumento de comunicaciones radio CMW500 de Rohde & Schwarz, hemos ejecutado la aplicación que implementa para simular la función de una estación base móvil.

A partir de esta función, el instrumento ha sido capaz de generar una red móvil privada a través de la cuál hemos establecido una conexión punto-a-punto entre el dispositivo bajo prueba y el instrumento.

Debido a las limitaciones de la fuente de emisión de datos de la moto, hemos planificado la comunicación desde un primer momento sobre la plataforma de GSM. Aunque a la hora de realizar las pruebas en el laboratorio con el Módem USB, también hemos desarrollado la comunicación sobre UMTS para mostrar otro ejemplo de establecimiento de una comunicación inalámbrica mediante el R&S CMW500.

En la configuración de los parámetros de red de R&S CMW500, ha sido de especial ayuda la asignatura sobre “Comunicaciones móviles”, así como “Sistemas y servicios”, puesto que es necesario tener un cierto conocimiento sobre el canal para ajustar algunos parámetros del sistema.

En resumen, hemos comprobado el correcto funcionamiento de un enlace de radiocomunicaciones desarrollado por R&S CMW500, puesto que dispone de todas las herramientas necesarias para evaluar la calidad de la comunicación. Además, hemos disfrutado de la ventaja de disponer de todas las tecnologías celulares y no celulares en un único equipo, cambiando de una tecnología a otra ante un solo click de botón.

#### 7.2. Conclusiones

La ventaja de utilizar el R&S CMW500 como enlace de comunicaciones, en lugar de Internet, reside en la posibilidad de establecer una conexión entre la fuente de datos de la moto y el servidor, independientemente a cualquier operador. Es una aplicación interesante para el campo de la competición, puesto que los circuitos suelen situarse a las afueras de la ciudad y no siempre van a llegar unos buenos niveles de señal.



La posibilidad de utilizar el R&S CMW500 favorece nuestro principal objetivo que consiste en recopilar la mayor cantidad posible de información en tiempo real, puesto que proporciona cobertura a todo el área del circuito y por tanto, minimiza la pérdida de paquetes.

Pese a las posibilidades que ofrece el R&S CMW500, al evaluar la conexión a través del protocolo ICMP, una vez desarrollada la comunicación, hemos comprobado que el enlace no es completamente fiable, detectando en algunas ocasiones que no era posible alcanzar el destino desde el origen. Pero también sabemos que es un comportamiento típico de un sistema de comunicaciones radio puesto que aunque inicialmente fijemos unos adecuados niveles de señal en el dispositivo bajo prueba y en el R&S CMW500, existen muchos factores aleatorios que interfieren sobre la comunicación.

Otra ventaja a destacar es la posibilidad de implementar cualquier tipo de tecnología celular y no celular en la función que se desee realizar con el R&S CMW500. Se pueden desarrollar incluso de forma paralela, tantas comunicaciones como permita el número de conectores RF del instrumento. Además, el mecanismo de configuración a seguir para cada tipo de estándar es similar, sólo se distinguen por los parámetros característicos de cada sistema, facilitando el paso de un estándar a otro.

### **7.3. Líneas futuras**

Para completar el análisis del sistema desarrollado, quedaría trasladar el material al circuito y realizar pruebas reales con la moto. Esto nos permitiría ajustar los parámetros de la red en un entorno real y comprobar la comunicación realizando una transferencia de paquetes con datos reales, tomados a partir de los sensores instalados.

Para optimizar el sistema también se debería contemplar la opción de implementar la comunicación sobre el estándar LTE para que el sistema sea realmente competitivo. E incluso, se podría desarrollar la función del servidor en el PC que el R&S CMW500 integra y de esta manera, aunar dos funciones en un mismo equipo.

Además, este sistema también puede ser utilizado para otras posibles aplicaciones fuera del área de la competición como usos particulares de empresas. De esta manera el instrumento podría proporcionar una red móvil independiente a la red pública y así, integrando la función del servidor en el PC del instrumento, realizaría varias funciones a través de un sólo equipo y se podría prescindir de otros equipos suplementarios.



---

## Bibliografía

---

- [1] <http://www.motostudent.com/>
- [2] [http://es.wikibooks.org/wiki/Redes\\_inform%C3%A1ticas/Protocolos\\_TCP\\_y\\_UDP\\_en\\_el\\_nivel\\_de\\_transporte](http://es.wikibooks.org/wiki/Redes_inform%C3%A1ticas/Protocolos_TCP_y_UDP_en_el_nivel_de_transporte)
- [3] R&S CMW500 Wideband Radio Communication Tester RF production testing, At a glance.
- [4] R&S CMW500 Wideband Radio Communication Tester, CMW\_GSM\_UserManual\_V3-2-10.
- [5] <http://www.microwavejournal.com/articles/15826-cmw500-wideband-radio-communication-tester>
- [6] <http://www.radiocomunicaciones.net/telemetria.html>
- [7] Carden, F., Jedlicka, R. P., Henry, R. , Telemetry Systems Engineering, 2002 Artech House.
- [8] <http://ustednoselocree.com/2009/12/09/wording-2/>
- [9] Robinson, W., Improvement in Electric Signaling Apparatus for Railroads, U.S. Patent No. 130661, Brooklyn, NY, August 20, 1872.
- [10] <http://www.todotren.com.ar/trenesturisticos/tecno.htm>
- [11] United States National Weather Service, Division of the National Oceanic and Atmosphere Administration, January 3, 2001.
- [12] <http://www.gadgets.com/noticias/telemetria-formula-1/>
- [13] <http://tic-tac.teleco.uvigo.es/profiles/blogs/la-telemetria-en-la-formula-1>
- [14] <http://www.a2r.com/la-telemetria-de-una-motogp-6413.html>
- [15] Tema 1\_Introduccion a la domótica\_V10\_pdf, Universidad Politécnica de Cartagena, 2014.
- [16] <http://robotica.wordpress.com/about/>
- [17] [http://spanish.alibaba.com/product-gs/ecg-telemetry-monitoring-system\\_medical-diagnostic-test-kits-292047954.html](http://spanish.alibaba.com/product-gs/ecg-telemetry-monitoring-system_medical-diagnostic-test-kits-292047954.html)
- [18] <http://www.enfermeriaencardiologia.com/revista/res2904.htm>
- [19] Tourón, A., Radulovich, O., Agüero, M., Fidalgo, I., Krygier, D., Kovalsky, M., Hnilo, A., Diodati, P., “Short pulse solid state laser for telemetry.”
- [20] Pascual García, J., Molina García-Pardo, J.M., Juan Llácer, L., Sistemas de Comunicaciones Móviles, Universidad Politécnica de Cartagena, 2010.
- [21] <http://jpgarcia.cl/2008/09/>
- [22] [http://155.210.158.52/docencia\\_it/RedesAccesoCelular/teoria/Tema%202\\_Sistema%20GSM.pdf](http://155.210.158.52/docencia_it/RedesAccesoCelular/teoria/Tema%202_Sistema%20GSM.pdf)
- [23] España Boquera, M. C., Servicios avanzados de telecomunicación, España, 2003.
- [24] <http://cecilia-urbina.blogspot.com.es/2012/02/gsm.html>



- [25] <http://lib.convdocs.org/docs/index-129542.html?page=2>
- [26] <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11983/fichero/Cap%EDtulo+2+-+LTE.pdf>
- [27] <http://dc439.4shared.com/doc/wgXnxQS2/preview.html>
- [28] <http://seguristar.wordpress.com/prototipo/estado-del-arte/>
- [29] CMW\_DataApplicationUnit\_UserManual\_V3-2-11



---

## Anexo A

---

### A.1. Material empleado y justificación

A lo largo de este apartado, vamos a detallar los elementos utilizados para realizar las pruebas en el laboratorio y comentar las características que nos han llevado a su elección:

#### A.1.1. Instrumento de radiocomunicaciones Rohde&Swarch CMW500

Éste es el instrumento seleccionado para este proyecto. Tiene un PC integrado que trabaja con el sistema operativo Windows XP. Contiene un software de aplicación adaptado a cada situación, para una mayor comodidad (figura A.1).

- Novedades [2]
  - Engloba todas las fases de desarrollo, verificación y producción en un sólo equipo.
  - Soporta diversos estándares de comunicaciones radio y tecnologías de divulgación: GSM/(E)GPRS, WCDMA/HSPA, UMTS LTE, TD-SCDMA, CDMA2000® 1xRTT, CDMA2000® 1xEV-DO, Mobile WiMAX™, WLAN, Bluetooth®, DVB-T y GPS .
  - Rango de frecuencias de 6 GHz para tener en cuenta futuros cambios en las comunicaciones inalámbricas y la aparición de nuevos estándares.
  - Ancho de banda de 40 MHz en recepción y 80 MHz en transmisión.
  - Corrección automática de la trayectoria frente a la frecuencia, tiempo o temperatura.
- Emulación de red RRC en tiempo real y pilas de protocolos.
- Soporte de datos en el plano de usuario para las comunicaciones punto-a-punto.
- Mediciones de alta precisión y velocidad optimizada en la producción debido a la captura y evaluación de datos simultánea.



Figura A.1. Rohde & Schwarz CMW500.

## Parámetros especiales. ATENUACIÓN EXTERNA

Este parámetro representa la atenuación de la señal como resultado de propagarse por el medio de comunicación. De manera que cuanto mayores sean las pérdidas provocadas por el entorno como consecuencia de obstáculos fijos, cables utilizados, etc, mayor deberá ser el valor de atenuación externa que debemos considerar.

El instrumento consta de dos parámetros diferentes para distinguir la atenuación de la señal en función del sentido en el que ésta se transmita puesto que los efectos no van a ser los mismos. La atenuación externa, tanto a la salida como a la entrada del R&S CMW500, se configura por defecto a un valor igual a 0. Hay que tener cuidado con este parámetro puesto que es un parámetro complejo y difícil de determinar.

### a) Atenuación externa a la entrada

Este parámetro considera la atenuación de la señal en sentido ascendente, por lo que va a afectar al nivel de potencia recibida en el R&S CMW500.

Para determinar el valor más adecuado, hemos ido variando la atenuación externa a la entrada a partir de un valor fijo de atenuación externa a la salida de 56 dB. Hemos comenzado con un valor de 24,9 dB, para aumentar su valor en incrementos de una unidad. Inicialmente el nivel de señal recibido en el R&S CMW500 se encontraba por debajo de lo esperado (figura A.2).



Figura A.2. Nivel de señal recibida en el R&S CMW500 insuficiente.

A partir de 33,9 dB se ha recibido un nivel de señal adecuado. Como ejemplo, hemos recogido el nivel de señal recibido en el R&S CMW500 a 35,9 dB (figura A.3). Hemos comprobado que a partir de 41,9 dB el instrumento comienza a tener algunos problemas.



Figura A.3. Nivel de señal recibida en el R&S CMW500 suficiente.



## b) Atenuación externa a la salida

Este parámetro representa la atenuación de la señal en sentido descendente, de manera que afectará directamente a la potencia recibida en el dispositivo móvil.

Para determinar el valor más adecuado, hemos hecho un balance de potencia recibida en el dispositivo bajo prueba en función del parámetro de atenuación externa a la salida. Para ello hemos fijado la atenuación externa a la entrada a 35.9 que, como hemos visto en el apartado anterior, nos da unos niveles adecuados de señal en el instrumento (Tabla 1).

Hemos obtenido los valores de señal recibidos en el dispositivo bajo prueba a partir del apartado “MS Measurement Report”, que muestra los informes que periódicamente recibe la estación base provenientes del dispositivo móvil y que contiene información sobre el mismo.

Atenuación a la salida (dB)	Atenuación a la entrada (dB)	C Value (Pr (dBm))
52	35.9	31 (-80 a -79)
53	35.9	32 (-79 a -78)
54	35.9	35 (-76 a -75)
55	35.9	35 (-76 a -75)
56	35.9	38 (-73 a -72)
57	35.9	38 (-73 a -72)
58	35.9	38 (-73 a -72)
59	35.9	40 (-71 a -70)
60	35.9	41 (-70 a -69)
61	35.9	43 (-68 a -67)
62	35.9	43 (-68 a -67)
63	35.9	43 (-68 a -67)
64	35.9	46 (-65 a -64)
65	35.9	46 (-65 a -64)
66	35.9	48 (-63 a -62)
67	35.9	48 (-63 a -62)
68	35.9	50 (-61 a -60)
69	35.9	50 (-61 a -60)
70	35.9	51 (-60 a -59)
71	35.9	52 (-59 a -58)



72	35.9	53 (-58 a -57)
73	35.9	54 (-57 a -56)
74	35.9	56 (-55 a -54)
75	35.9	56 (-55 a -54)
76	35.9	59 (-54 a -53)
77	35.9	59 (-54 a -53)
78	35.9	59 (-54 a -53)
79	35.9	58 (-53 a -52)
80	35.9	60 (-51 a -50)

Tabla A.1. Balance de potencias en el dispositivo bajo prueba.

## Puertos RF

Los conectores tipo N situados en el panel frontal del R&S CMW500 pueden ser utilizados como entrada y salida para señales de RF. Todos ellos tienen una impedancia de 50  $\Omega$ .

Para una comunicación inalámbrica bidireccional, lo que hacemos es configurar el mismo puerto como acceso de entrada y salida (figura A.4).



Figura A.4. Conector RF de entrada y salida.



## GSM specifications – mobile station test <sup>8</sup>

### GSM RF generator

(prerequisite: R&S<sup>®</sup>CMW-B110A/R&S<sup>®</sup>CMW-B110D option)

Frequency range	GSM450 band	460 MHz to 468 MHz
	GSM480 band	488 MHz to 496 MHz
	GSM750 band	747 MHz to 762 MHz
	GSM850 band	869 MHz to 894 MHz
	GSM900 band	921 MHz to 960 MHz
	GSM1800 band	1805 MHz to 1880 MHz
	GSM1900 band	1930 MHz to 1990 MHz

### GSM GEN (R&S<sup>®</sup>CMW-KG200 option)

Output level range	depending on PAR	see general technical specifications
Output level uncertainty		see general technical specifications
Output level resolution		see general technical specifications

Signal quality		
Phase error	GMSK	< 1°, RMS < 4°, peak
Error vector magnitude (EVM)	8PSK	< 2 %, RMS

### GSM GEN (R&S<sup>®</sup>CMW-KG200 option)

Output level range	depending on PAR	see general technical specifications
Output level uncertainty		see general technical specifications
Output level resolution		see general technical specifications

Signal quality		
Phase error	GMSK	< 1°, RMS < 4°, peak
Error vector magnitude (EVM)	8PSK	< 2 %, RMS

### GSM WinIQSIM2™ (R&S<sup>®</sup>CMW-KW200 option), GSM EDGE EVO WinIQSIM2™ (R&S<sup>®</sup>CMW-KW201 option)

Arbitrary waveform files	GMSK, B × T = 0.3, with the R&S <sup>®</sup> CMW-KW200 option	GSM_GMSK.WV (PAR = 0 dB), GMSKDIGMOD.WV (PAR = 0 dB)
	8PSK, with the R&S <sup>®</sup> CMW-KW200 option	GSM_EDGE.WV (PAR = 3.23 dB), EDGEDIGMOD.WV (PAR = 3.22 dB)
Arbitrary waveform files	16QAM, with the R&S <sup>®</sup> CMW-KW200 and R&S <sup>®</sup> CMW-KW201 options	EDGE_EVO_16QAM_A.WV (PAR = 4.70 dB)
	32QAM, with the R&S <sup>®</sup> CMW-KW200 and R&S <sup>®</sup> CMW-KW201 options	EDGE_EVO_32QAM_B.WV (PAR = 5.37 dB)

Output level range	depending on PAR	see general technical specifications
Output level uncertainty	with the R&S <sup>®</sup> CMW-KW200 option, waveform files used: GMSKDIGMOD.WV or EDGEDIGMOD.WV	see general technical specifications
	with the R&S <sup>®</sup> CMW-KW200 and R&S <sup>®</sup> CMW-KW201 options, waveform files used: EDGE_EVO_16QAM_A.WV, EDGE_EVO_32QAM_B.WV	see general technical specifications

<sup>8</sup> R&S<sup>®</sup>CMW500 and R&S<sup>®</sup>CMW280 only.



Version 12.00, January 2014

Signal quality		
Phase error	GMSK with the R&S®CMW-KW200 option, waveform file used: GSM_GMSK.WV	< 1°, RMS < 4°, peak
Error vector magnitude (EVM)	8PSK with the R&S®CMW-KW200 option, waveform file used: GSM_EDGE.WV	< 2 %, RMS
	16QAM / 32QAM level A with the R&S®CMW-KW200 and R&S®CMW-KW201 options, waveform file used: EDGE_EVO_16QAM_A.WV	< 2 %, RMS
	QPSK / 16QAM / 32QAM level B with the R&S®CMW-KW200 and R&S®CMW-KW201 options, waveform file used: EDGE_EVO_32QAM_B.WV	< 2 %, RMS

### GSM RF analyzer (R&S®CMW-KM200 option) and GSM EDGE EVO A analyzer (R&S®CMW-KM201 option)

Frequency range		
	GSM450 band	450 MHz to 458 MHz
	GSM480 band	478 MHz to 486 MHz
	GSM750 band	777 MHz to 792 MHz
	GSM850 band	824 MHz to 849 MHz
	GSM900 band	876 MHz to 915 MHz
	GSM1800 band	1710 MHz to 1785 MHz
	GSM1900 band	1850 MHz to 1910 MHz

Trigger		
Trigger sources		BASE: external TRIG A, BASE: external TRIG B, GPRF: BB generator, GSM: free run, GSM: IF power, GSM: acquisition

Trigger		
Trigger sources		BASE: external TRIG A, BASE: external TRIG B, GPRF: BB generator, GSM: free run, GSM: IF power, GSM: acquisition

### Modulation analysis

Level range		-28 dBm to +42 dBm <sup>9</sup>
Analysis mode	with the R&S®CMW-KW200 option	GMSK, 8PSK
	with the R&S®CMW-KW200 and R&S®CMW-KW201 options	GMSK, 8PSK, 16QAM (level A)
Inherent phase error	GMSK	< 0.6°, RMS < 2°, peak
Inherent error vector magnitude (inherent EVM)	8PSK, 16QAM (level A)	< 0.8 %, RMS
Frequency measurement uncertainty		< 20 Hz + drift of timebase, see general technical specifications
Inherent I/Q offset		< -50 dB
Filter	GMSK	bandpass, 900 kHz, RRC filter, $\alpha = 0.16$
	8PSK, 16QAM (level A)	windowed raised-cosine filter in line with 3GPP TS 45.005

Burst power measurement		
Level uncertainty	bandpass, 900 kHz, RRC filter, $\alpha = 0.16$	see general technical specifications

<sup>9</sup> The maximum permissible continuous power is +34 dBm due to thermal limits.



### Power versus time measurement

Filter	selectable	Gaussian, 500 kHz or 1 MHz
Dynamic range	filter → 500 kHz, Gaussian, with fixed expected nominal power setting	
	GMSK	> 72 dB, RMS
	8PSK, 16QAM (level A)	> 69 dB, RMS
Expected nominal power setting for full dynamic range	RF1 COM, RF2 COM	-8 dBm to +42 dBm <sup>10</sup>
Relative measurement uncertainty	result > -40 dB	typ. < 0.1 dB
	-60 dB ≤ result ≤ -40 dB	typ. < 0.5 dB
<b>Burst power measurement</b>		
Level range		-50 dBm to +42 dBm <sup>10</sup>
Level uncertainty	filter → 500 kHz or 1 MHz, Gaussian	see general technical specifications

### Spectrum due to modulation measurement

Expected nominal power setting for full dynamic range	RF1 COM, RF2 COM	-8 dBm to +42 dBm <sup>10</sup>
Test method		relative measurement, averaging
Filter		Gaussian, 30 kHz, 5 pole
Measurement	at an offset of ±	100/200/250/400/600/800/1000/1200/1400/1600/1800 kHz
Dynamic range	offset ≥ 1200 kHz	
	GMSK	> 74 dB
	8PSK, 16QAM (level A)	> 70 dB

### Spectrum due to switching measurement

Expected nominal power setting for full dynamic range	RF1 COM, RF2 COM	-8 dBm to +42 dBm <sup>10</sup>
Test method		absolute measurement, max. hold
Filter		Gaussian, 30 kHz, 5 pole
Measurement	at an offset of ±	400/600/1200/1800 kHz
Dynamic range	offset ≥ 1200 kHz	
	GMSK	> 72 dB
	8PSK, 16QAM (level A)	> 68 dB

### GSM signaling (prerequisite: R&S<sup>®</sup> CMW-KS200, R&S<sup>®</sup> CMW-KS201, R&S<sup>®</sup> CMW-KS203, R&S<sup>®</sup> CMW-B200A, R&S<sup>®</sup> CMW-B210A options; additionally R&S<sup>®</sup> CMW-KS210 option and R&S<sup>®</sup> CMW-KS211)

<b>Frequency range</b>		
GSM850 band, GSM900 band, GSM1800 band, GSM1900 band	DL UL	see GSM RF generator specifications see GSM RF analyzer specifications
<b>Frequency setting</b>		
		channel number
Output level range	depending on PAR and additional 6 dB level margin	see general technical specifications
	with DLDC: depending on PAR and additional 9.3 dB level margin	see general technical specifications
Output level resolution		see general technical specifications
Output level uncertainty		see general technical specifications
<b>Modulation</b>		
Inherent phase error	GMSK	< 1°, RMS < 4°, peak

<sup>10</sup> The maximum permissible continuous power is +34 dBm due to thermal limits.



Para obtener mayor información sobre el equipo, se puede acudir a la página [http://cdn.rohde-schwarz.com/dl\\_downloads/dl\\_common\\_library/dl\\_brochures\\_and\\_datasheets/pdf\\_1/CMW500\\_dat-sw\\_en\\_5213-9211-22\\_v1200.pdf](http://cdn.rohde-schwarz.com/dl_downloads/dl_common_library/dl_brochures_and_datasheets/pdf_1/CMW500_dat-sw_en_5213-9211-22_v1200.pdf)

### A.1.2. Antena SBA 9113

Como antena transmisora/receptora hemos seleccionado el modelo SBA 9113 (figura A.5). El objetivo era encontrar una antena cuyo diagrama de radiación fuese lo más esférico posible para recibir una señal de forma uniforme a lo largo de una dirección, puesto que la moto seguirá una trayectoria variable, dependiendo del circuito donde se realicen las pruebas. Otro rasgo interesante para aplicar este modelo es el amplio rango de frecuencias que abarca, y con el que se cubre todas las bandas definidas para GS.

- Patrón de radiación máximo en la dirección donde se desplaza la moto, por lo que el nulo existente en el corte ortogonal no interferirá en la recepción de la señal.
- Rango de frecuencias: 500 MHz - 3 GHz.
- Ganancia variable en función de la frecuencia.
- Características consideradas durante la prueba:
  - Omnidireccional.
  - Polarización lineal.
  - Opera en transmisión y recepción.
  - Valor máximo de ganancia es 0,43 dBi (a 1800 Mhz) dentro de todas las frecuencias GSM soportadas por la fuente de transmisión.

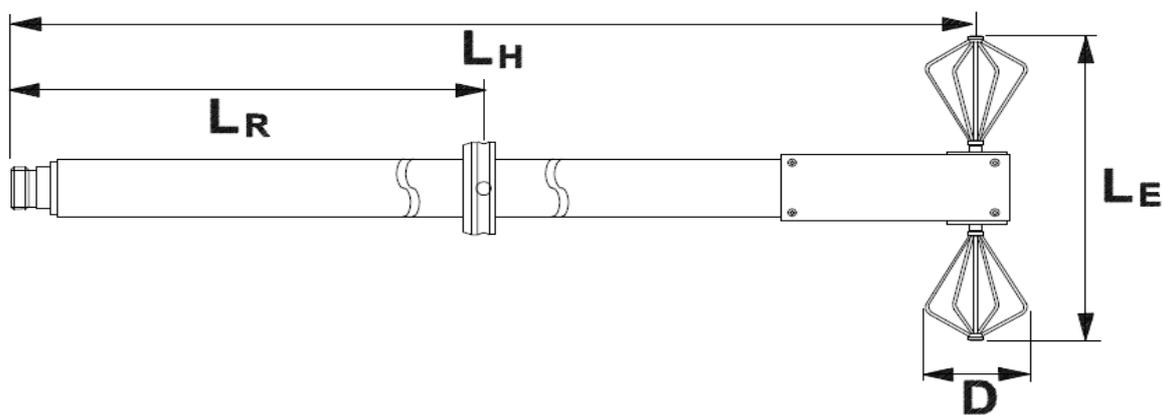


Figura A.5. Antena SBA 9113.

Para saber más sobre la antena bicónica omnidireccional SBA 9113, se puede recurrir a la página <http://schwarzbeck.de/Datenblatt/k9113.pdf>



### **A.1.3. USB Qualcomm 3G CDMA**

Para realizar las pruebas en el laboratorio se necesita simular la acción del dispositivo móvil, y para ello se ha utilizado el USB Qualcomm 3G CDMA (junto con la tarjeta específica de Rohde & Schwarz descrita en el subapartado anterior). Se ha comprobado que el USB sólo trabaja a 900/1800 MHz. Acorde a las especificaciones de la antena, se ha trabajado a 1800 MHz.

Se puede encontrar más información en la página:  
[http://outsella.en.alibaba.com/product/572187157-209802710/Qualcomm\\_3G\\_CDMA\\_Modem\\_Driver.html](http://outsella.en.alibaba.com/product/572187157-209802710/Qualcomm_3G_CDMA_Modem_Driver.html)

### **A.1.4. Tarjeta Mini-UICC R&S CMW-Z04**

Para que el instrumento R&S CMW500 cuando actúe como estación base pueda detectar al dispositivo bajo prueba que quiera sincronizarse a la red, se ha utilizado en el plano de usuario la tarjeta R&S CMW-Z04. Esta tarjeta es aplicable a tecnologías LTE, UTRAN, GERAN, CDMA2000 e IMS.

### **A.1.5. Cables**

Para conectar el equipo R&S CMW500 con el servidor remoto utilizado para almacenar y visualizar los datos, se ha utilizado un cable ethernet RJ45.

## **A.2. Guía del programa**

Este apartado consiste en un manual de ayuda del instrumento R&S CMW500. Se va a explicar de manera detallada la metodología a seguir, a la hora de utilizar el instrumento para diferentes fines. Y también se irá explicando cada una de las partes de las que se compone el programa.

### **A.2.1. Puesta en marcha del instrumento R&S CMW500**

Una vez que se ha encendido el instrumento R&S CMW500, la puesta en marcha del programa de aplicación es muy sencilla, simplemente hay que hacer *doble click* al archivo ejecutable *CMW.exe* que aparece en el escritorio del PC. Una vez ejecutado el archivo, nos aparecerá la ventana de presentación del programa y estaremos en disposición de utilizar el software de la aplicación.



## A.2.2. Descripción y funcionamiento de las diferentes partes del programa

En esta sección se va a desarrollar la descripción y modo de funcionamiento de cada una de las partes de las que está compuesto nuestro programa:

### Ventana de presentación

La primera página que aparece al arrancar el programa nos muestra dos opciones a elegir (figura A.6):

- Para que el R&S CMW500 actúe como analizador del sistema, debemos pulsar la tecla "MEASURE" que se encuentra en el panel frontal, a la derecha de la pantalla, concretamente en el cuadrante superior izquierdo.
- Para que el R&S CMW500 actúe como generador del sistema, debemos pulsar la tecla "SIGNAL GEN" que se sitúa en el panel frontal, a la derecha de la pantalla, concretamente en el cuadrante superior izquierdo debajo de "MEASURE".

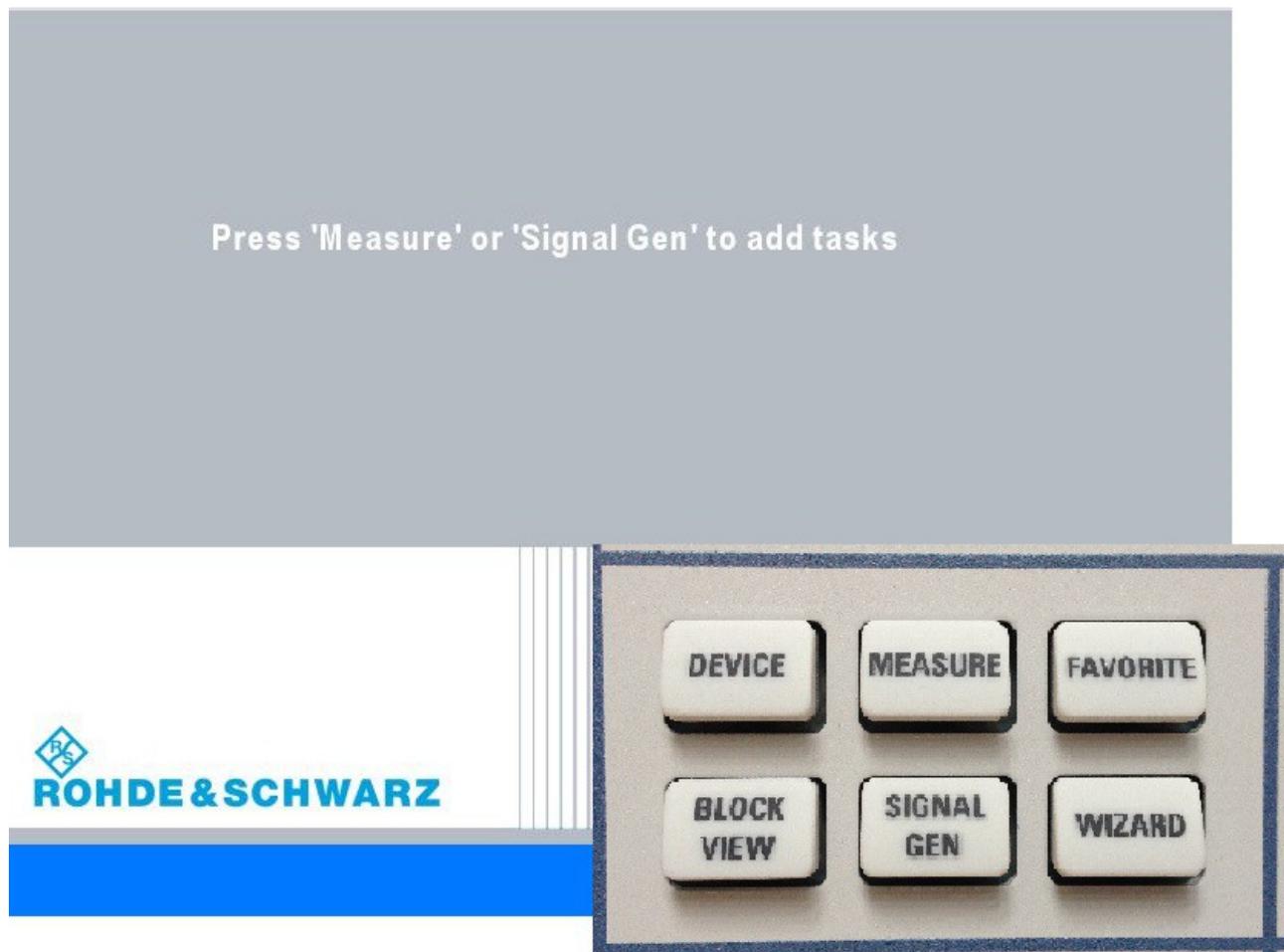


Figura A.6. Primera pantalla del programa.



## Ventana del R&S CMW500 como analizador

Al pulsar "*MEASURE*" se abre automáticamente una nueva interfaz gráfica que contiene una serie de opciones a elegir (figura A.7).

El siguiente paso consiste en seleccionar el sistema que el instrumento va a analizar, para realizar las medidas correspondientes en cada caso. Tenemos varias opciones:

- Para medir los parámetros característicos de la señal producida por el generador 1 seleccionamos en el apartado "General Purpose RF", "*Measurements 1*". Mientras que si la señal que queremos estudiar es la correspondiente al generador 2 seleccionaremos "*Measurements 2*".
- Para analizar un enlace establecido mediante GSM en sentido ascendente y descendente, podemos seleccionar "*Multi Evaluation*" si disponemos de un generador adicional. Si no es el caso, seleccionaremos "*RX Measurement*" para el sentido ascendente y "*Multi Evaluation*" para el descendente.
- En el caso de LTE, el equipo sólo nos permite seleccionar la opción "*Extended BLER*" que sirve para medir el BLER y throughput del canal.
- Para analizar en el R&S CMW500 el enlace establecido por WCDMA FDD en transmisión y recepción, vamos a seleccionar respectivamente "*TX Measurement*" y "*RX Measurement*".
- Para analizar tecnologías no celulares como WIMAX y WLAN seleccionaremos su "*PER*" correspondiente.

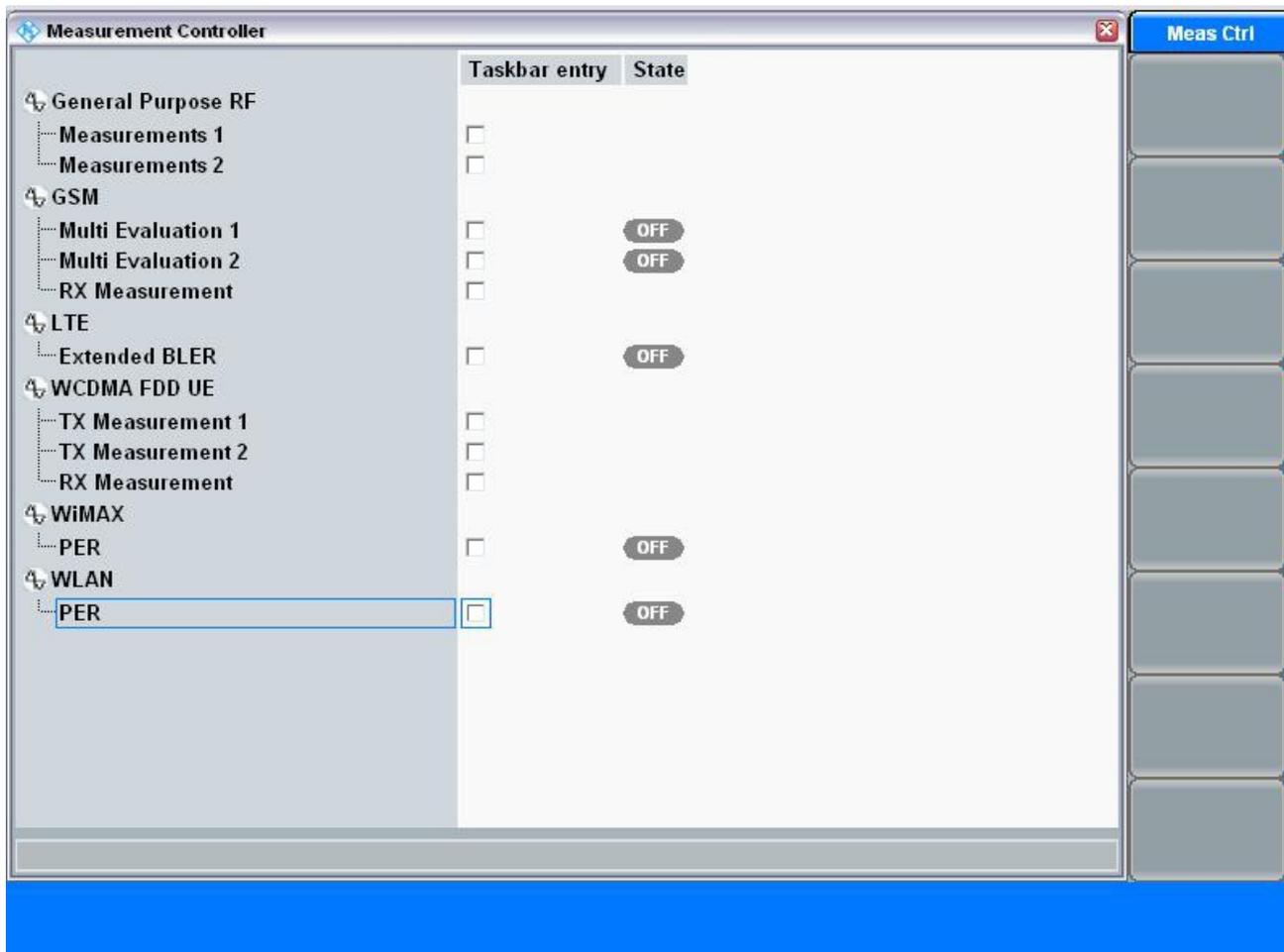


Figura A.7. R&S CMW500 como analizador.

Para seleccionar una opción, hay que hacer *click* sobre el cuadro blanco correspondiente. Seguidamente, podemos ver cómo se añade una nueva entrada con el nombre de la opción que acabamos de seleccionar en la barra de tareas que se muestra en el marco inferior de la pantalla.

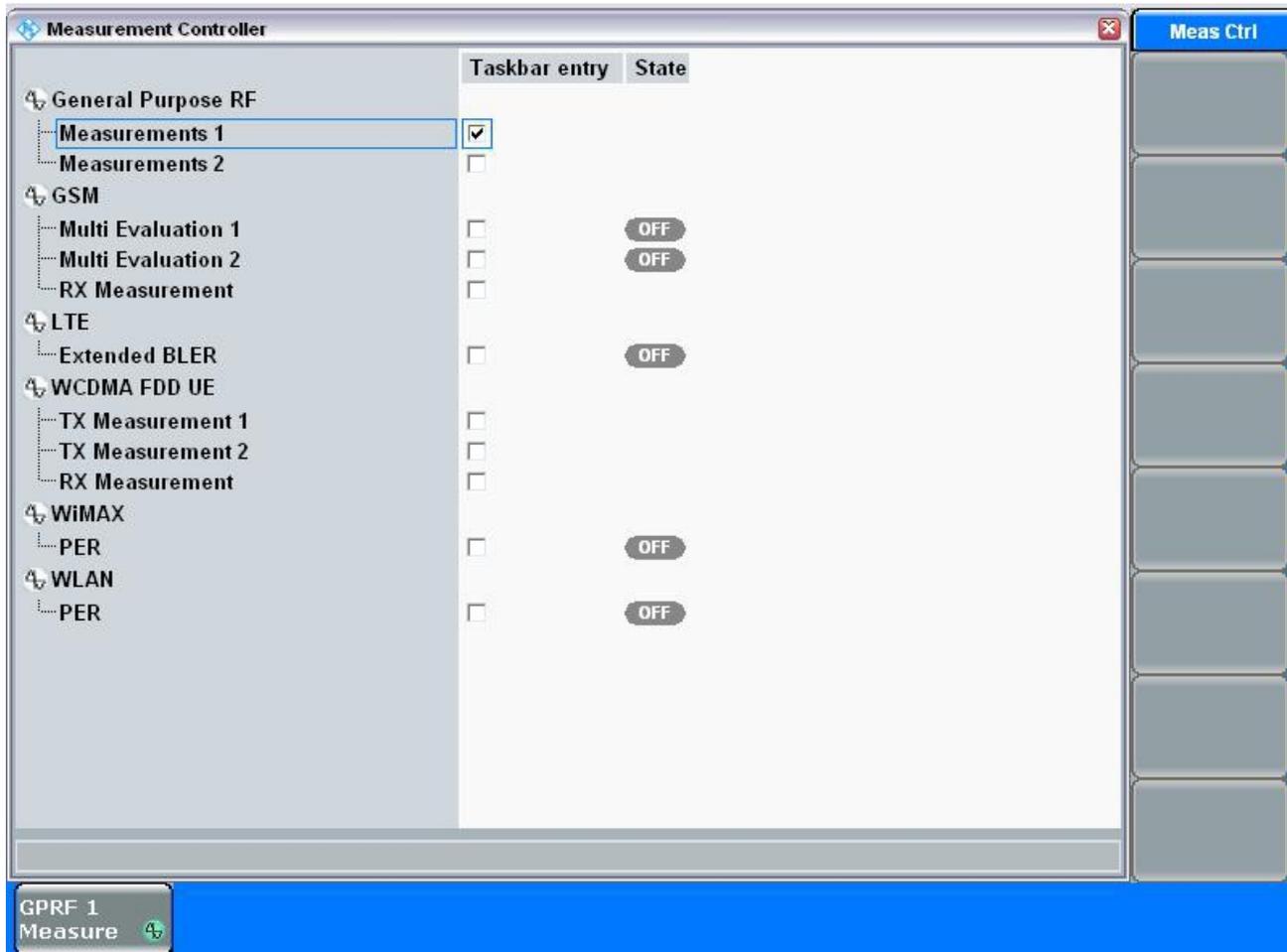


Figura A.8. Ejemplo de selección de "GPRF Measurements 1".

## Ventana del R&S CMW500 como generador

Al pulsar "SIGNAL GEN" se abre automáticamente una nueva interfaz gráfica que también contiene una serie de opciones a elegir (figura A.9).

En este apartado vamos a seleccionar el tipo de generador que queremos implementar con el R&S CMW500.

- Para que el R&S CMW500 genere una señal de RF a una frecuencia determinada, vamos a seleccionar en "General Purpose RF" la opción "Generator 1". Si vamos a utilizar el instrumento para representar más de un generador utilizaremos la opción "Generator 2".
- Para que el instrumento actúe como una estación base móvil podemos elegir una de las tres siguientes opciones: sobre el estándar de segunda generación, "GSM Signaling"; sobre el estándar de tercera generación WCDMA, "WCDMA FDD Signaling"; sobre el estándar de cuarta generación LTE, "LTE Signaling".



- Para que el instrumento genere una señal inalámbrica no celular podemos contemplar las últimas dos opciones "*WIMAX Signaling*" o "*WLAN Signaling*". La elección final va a depender de la función que cumpla el equipo en el sistema.

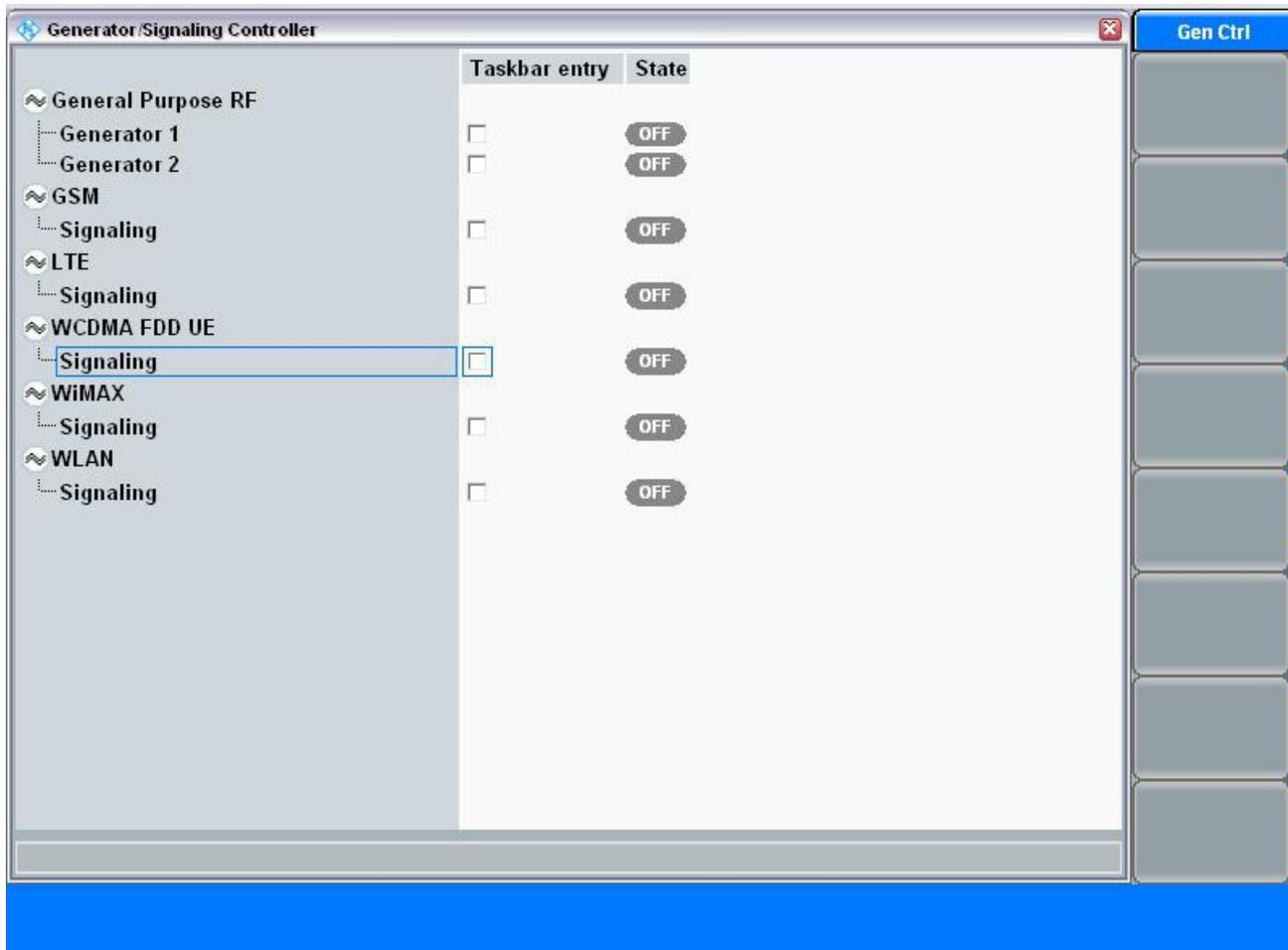


Figura A.9. R&S CMW500 como generador/estación base.

Para seleccionar una opción, hay que hacer *click* sobre el cuadro blanco correspondiente, como en el caso anterior. A continuación también podremos ver que se añade una nueva entrada con el nombre de la opción que acabamos de seleccionar en la barra de tareas que se muestra en el marco inferior de la pantalla.

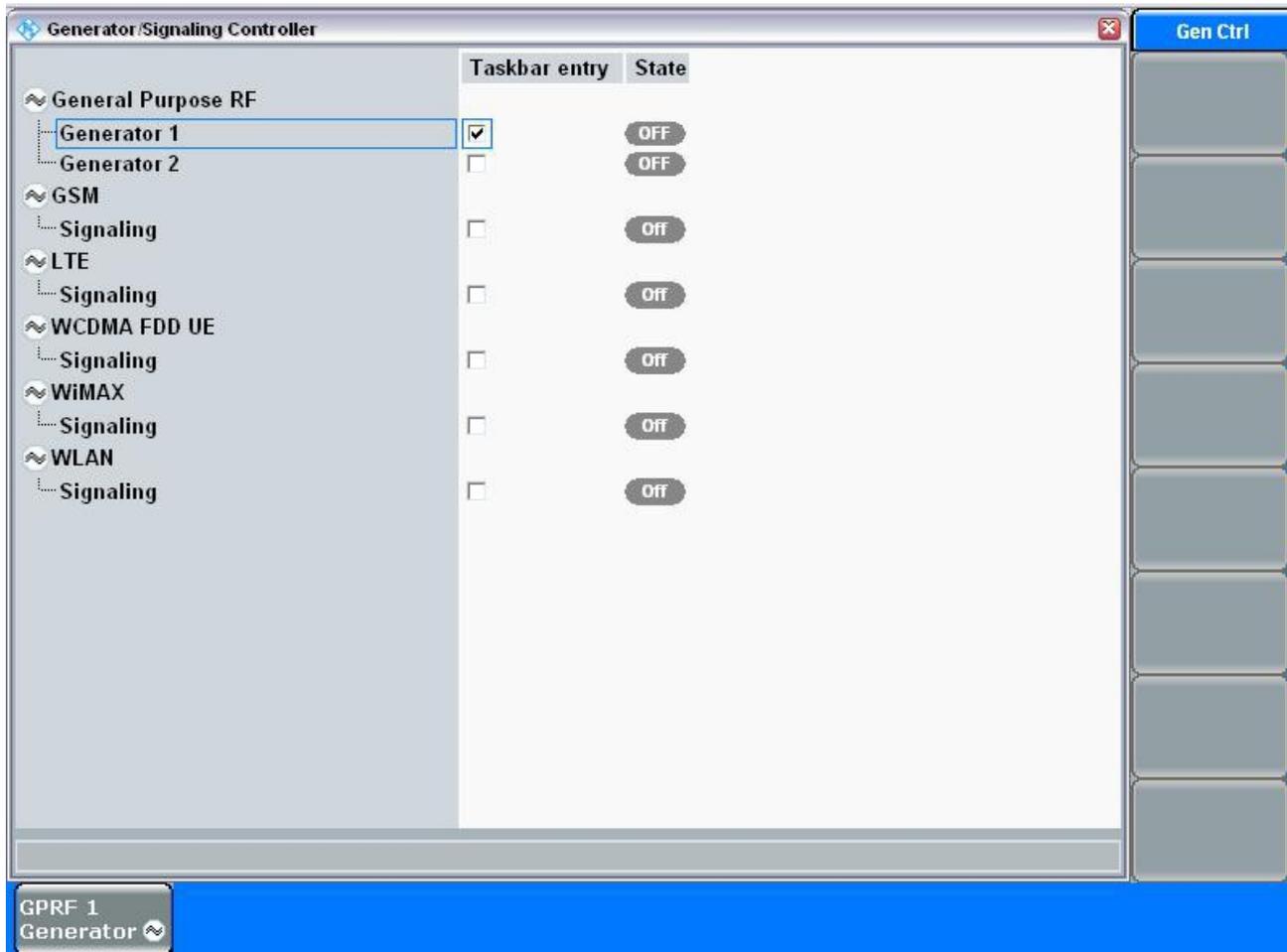


Figura A.10. Ejemplo de selección de “GPRF Generator 1”.

### Interfaz gráfica específica para cada opción

El siguiente paso es acceder a la interfaz gráfica correspondiente a la opción que acabamos de seleccionar. Para ello hacemos *click* sobre la entrada que se ha creado en la barra de tareas situada en el inferior de la pantalla. Automáticamente, aparece en pantalla una ventana específica para esa opción.

La estructura es igual en todos los casos, pues va a contener una barra de tareas vertical en el extremo derecho de la pantalla con diferentes entradas. El contenido va a depender de la opción que sea seleccionada. Si se hace *click* sobre alguna de esas entradas, se modificará el contenido de la barra horizontal situada en el marco inferior de la pantalla y aparecerá un nuevo grupo de parámetros que se pueden modificar. De manera que estas entradas ofrecen un acceso rápido y sencillo hacia los parámetros más utilizados del sistema. Las entradas comunes a todas las interfaces gráficas son:



- Generalmente sólo en una de las entradas vamos a poder observar un "OFF" sombreado. Esta entrada sirve para activar o desactivar la aplicación. Inicialmente está en "OFF" para indicar que está desactivada.
- Hay una entrada denominada "config" que abre una nueva ventana que contiene todos los parámetros de configuración necesarios para el funcionamiento de la opción escogida.
- Generalmente va a haber una entrada denominada "RF Settings" o "Routing" donde se modifican los puertos de transmisión y recepción de las señales de RF, y los parámetros de atenuación externa a la entrada y a la salida. Sólo al hacer *click* sobre esta opción se va a abrir una nueva barra de tareas en el inferior de la pantalla con los parámetros descritos.

### A.2.3. Metodología para realizar una medida

En este apartado vamos a describir los pasos necesarios para realizar una medida correctamente.

#### *Paso 1*

Se revisa que la antena esté correctamente conectada al conector de RF que vayamos a configurar como puerto de entrada.

#### *Paso 2*

Abrimos el software de aplicación haciendo *click* sobre el archivo *CMW.exe* para arrancar el programa.

#### *Paso 3*

Seleccionamos la opción "*Measure*" que aparece en pantalla para que el instrumento trabaje como analizador, y para ello presionamos la tecla "*MEASURE*".

#### *Paso 4*

Hacemos *click* sobre el cuadro blanco correspondiente al entorno que queramos analizar. Para abrir la interfaz gráfica correspondiente, hacemos *click* sobre la nueva entrada que se haya añadido en la barra de tareas que se muestra en el inferior de la pantalla.



### Paso 5

Se configuran los parámetros pertinentes:

- Posibilidad 1: Si hemos seleccionado "*GPRF Measurements 1*" o "*GPRF Measurements 2*" vamos a poder modificar el conector RF de entrada y la atenuación externa haciendo *click* sobre la entrada "*RF Settings*" contenida en la barra vertical derecha, así como el pulso, el tipo de medidas, etc., también contenidas dentro de la barra vertical derecha.

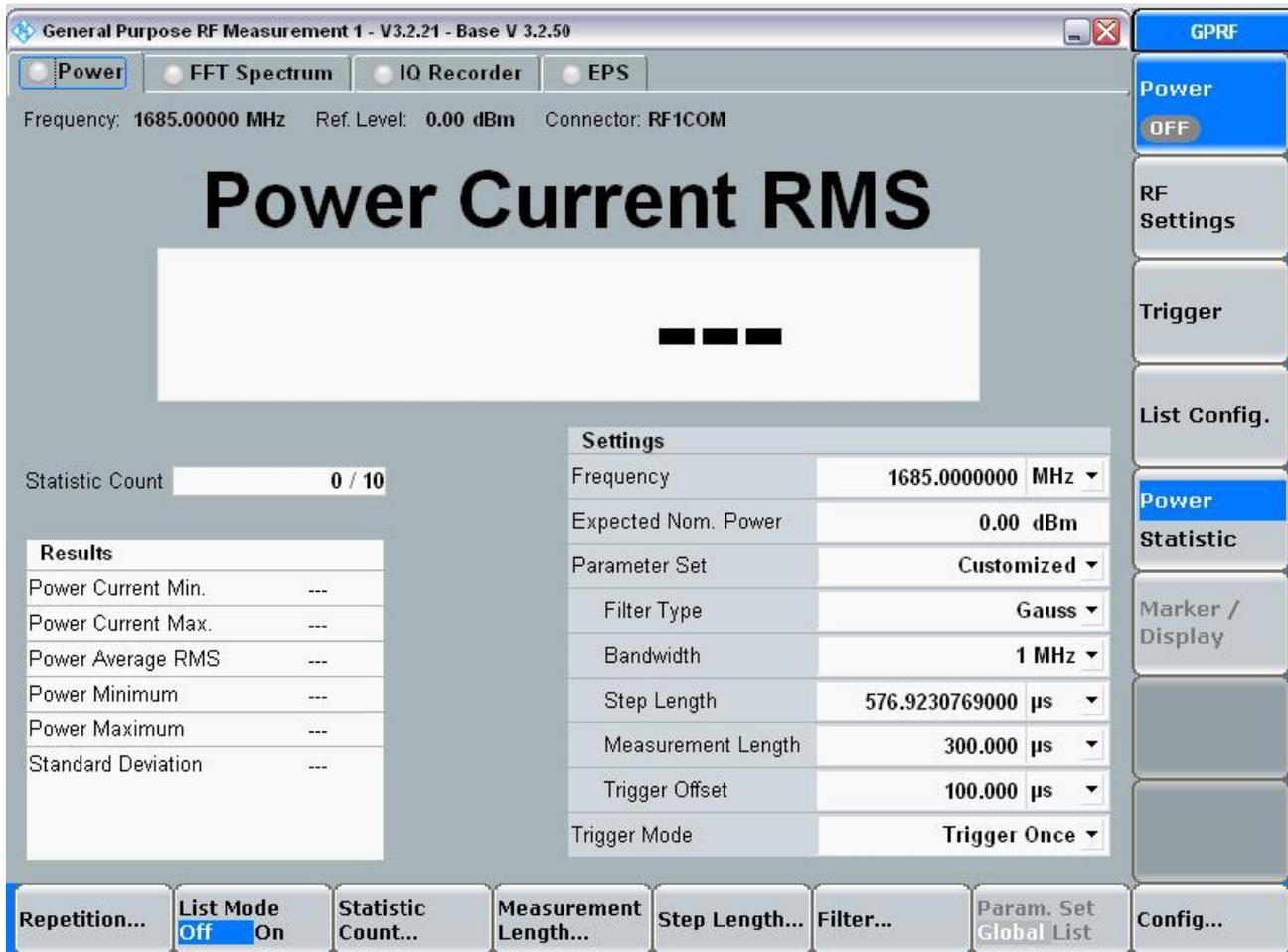


Figura A.11. Interfaz gráfica de la opción "*GPRF Measurements 1*".

- Posibilidad 2: Si hemos seleccionado una de las opciones de la red "GSM" tendremos que fijarnos en el conector RF de entrada y salida, y ajustar la atenuación externa a la entrada y a la salida (en "*RF Settings*"). También tendremos que configurar los parámetros característicos de la red modificando directamente su valor en la interfaz gráfica que se muestra en pantalla o accediendo a la entrada denominada "*config*". En el caso de seleccionar la opción "*Multi Evaluation*" también podremos seleccionar el tipo de representación de los resultados a través de la entrada "*Display*". Y si nos fijamos en la barra que se muestra en el inferior de la pantalla, podemos modificar el número de repeticiones, la condición de parada, etc.



GSM Signaling - V3.2.60 - RX Measurement

PS BER  
  PS BLER  
  CS BER  
  RLC Throughput  
  CMR Performance

Carrier 1	BLER [%]	RLC Data Blocks	Data rate [kBit/s]
Slot0/Off	---	---	---
Slot1/Off	---	---	---
Slot2/Off	---	---	---
Slot3@-80dBm	---	---	---
Slot4/Off	---	---	---
Slot5/Off	---	---	---
Slot6/Off	---	---	---
Slot7/Off	---	---	---
Over all	---	---	---

Long-Term Throughput:

Over All	Per Slot	
RLC Data Blocks		--- / 2000
Corrupted Blocks		---
False ACKed Blocks		---

**Cell Setup**  
 BCCCH  
 Channel / Band: 20 GSM900  
 Level: -80.00 dBm  
 PMax (PCL): 5 33.00 dBm  
 PS Domain:

**TCH/PDCH Carrier 1** | **PDCH Carrier 2**  
 Channel / Band: 62 GSM900  
 Downlink: 947.4 MHz | Uplink: 902.4 MHz  
 DL Reference Level: -80.00 dBm

**Connection Setup**  
 Circuit Switched Slot  
 Packet Switched Slot  
 Circuit | Packet Sw. Slot  
 UL Measurement Slot  
 DL: ○○○○●○○○  
 UL: ○○○○●○○○  
 Edit ...

Service: BLER  
 DL Dual Carrier:

CS:  OFF      PS:  OFF      DL: ○○○○●○○○ MCS-1      UL: ○○○○●○○○ MCS-1

BER Packet Switched: OFF  
 Signaling Parameter  
 GSM Signaling: OFF  
 TBF Level Coding Schem    Service ...    Slot Config ...    Config ...

Figura A.12. a) Interfaz gráfica de la opción “GSM RX Measurement”.

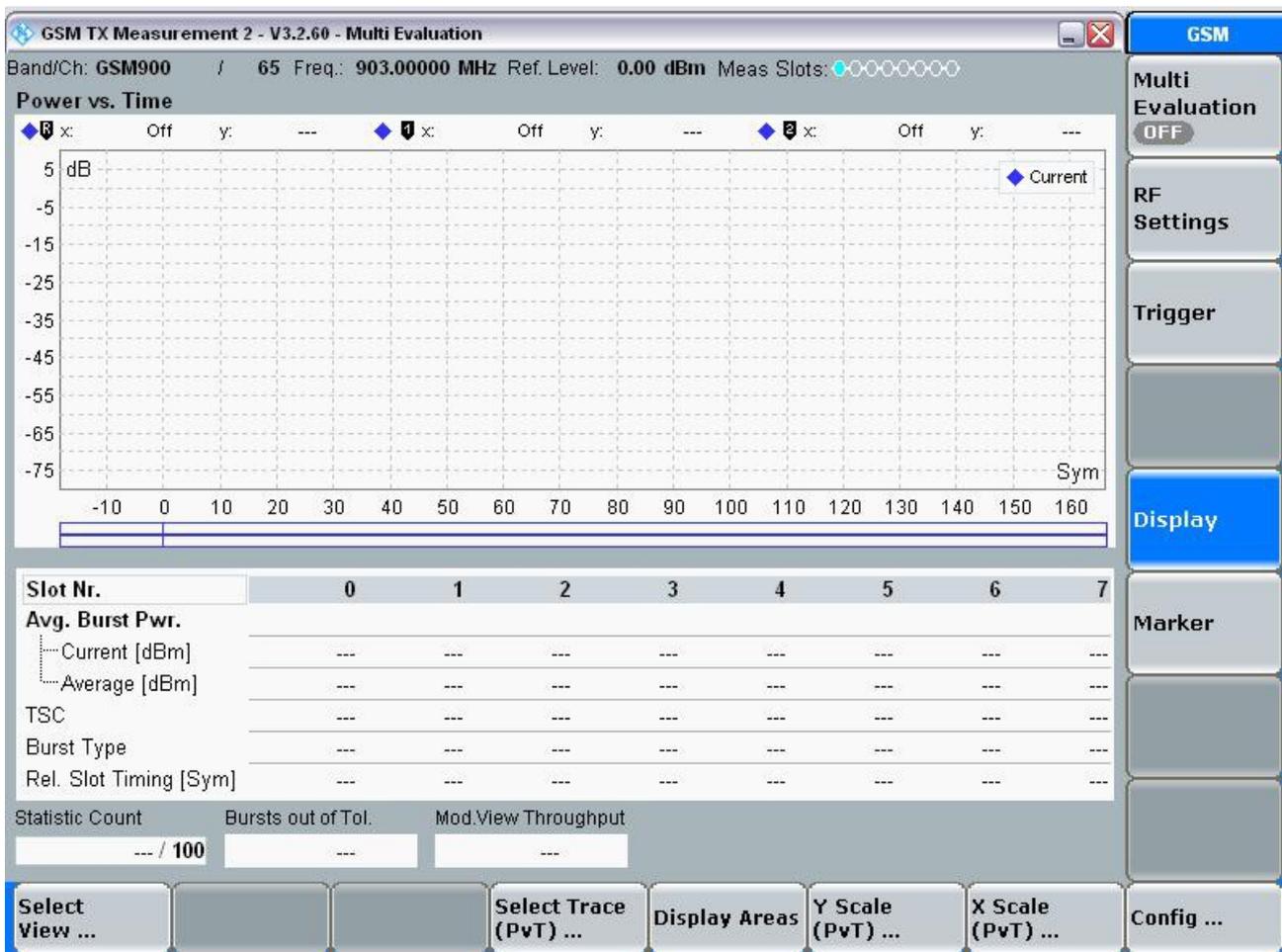


Figura A.12. b) Interfaz gráfica de la opción "GSM Multi Evaluation".

- Posibilidad 3: Si hemos seleccionado la tecnología "LTE", la barra de tareas vertical derecha va a contener entradas para configurar los parámetros de entrada y salida de RF (en "Routing") y también para modificar la gráfica de representación de los resultados (en "Display"). También tendremos que configurar los parámetros característicos de la red, algunos de ellos se podrán modificar haciendo *click* en la entrada "Signaling Parameters". Mientras que si queremos considerar todos los parámetros posibles de la red haremos *click* sobre la entrada "config".

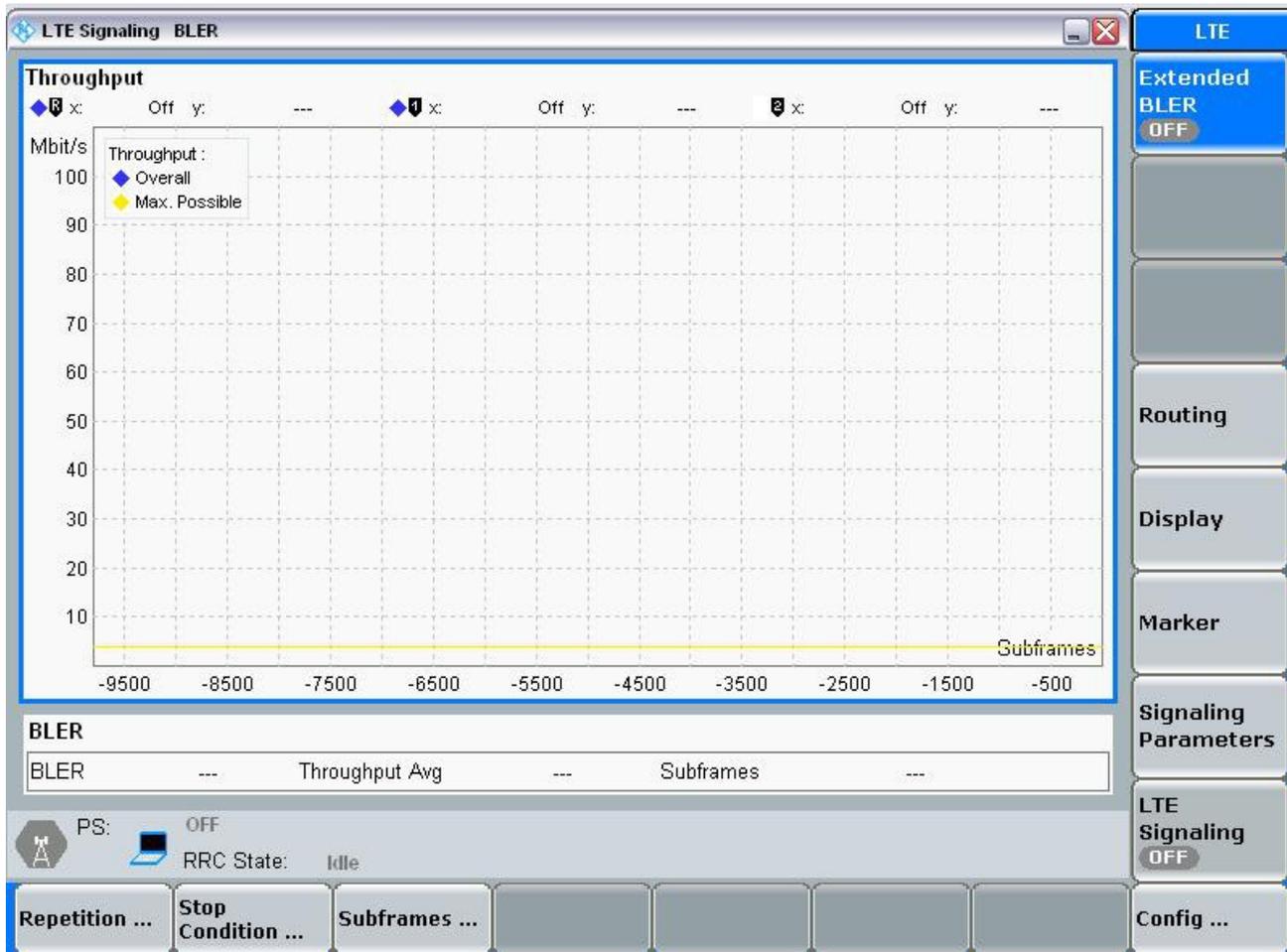


Figura A.13. Interfaz gráfica de la opción "LTE Extended BLER".

- Posibilidad 4: Si hemos seleccionado una de las opciones de la red WCDMA tendremos que fijarnos, al igual que en los otros casos, en el conector RF de entrada y salida, y ajustar la atenuación externa a la entrada y a la salida (en "RF Settings"). También tendremos que configurar los parámetros característicos de la red modificando directamente su valor en la interfaz gráfica que se muestra en pantalla o accediendo a la entrada denominada "config". En el caso de seleccionar la opción "TX Measurement" también podremos seleccionar el tipo de representación de los resultados a través de la entrada "Display", y determinar una condición de parada o el número de repeticiones, etc., pues presenta las mismas opciones que en "GSM Multi Evaluation".



WCDMA UE RX Measurement - V3.2.60 - Base V 3.2.50

WCDMA

BER HSDPA ACK E-HICH RLC Throughput UL Logging

**Connection Status**

Cell HSDPA HSPA CM

Circuit Switched OFF

Packet Switched OFF

CMW Demod. Info Power: --- Sync: ---

DLUL Alignment --- Chip

**Results**

BER [%]	---
BLER [%]	---
DBLER [%]	---
Lost Transport Blocks	---
UL TFCI Faults [%]	---
False Detection Ratio [%]	---
PN Discontinuity	---
Transport Blocks	1 / 100

**Cell Setup**

Band **Band 1**

	Downlink	Uplink
Channel	10563 Ch	9613 Ch
Frequency	2112.6 MHz	1922.6 MHz
Output Power	-56.10 dBm	
Total Output	-56.10 dBm	
Scrambling Code	0 hex	0 hex
P-CPICH	-3.3 dB	Code 0
PS Domain	<input checked="" type="checkbox"/> Reduced Signaling	<input type="checkbox"/>

**Connection Setup**

UE term. Connect **Test Mode**

Type **RMC**

RMC

Data Rate DL **12.2 kbps** UL **12.2 kbps**

Test Mode **Loop Mode 2**

BER OFF

Signaling Parameter

WCDMA-UE Signaling OFF

GSM 2 Multi Eval. GSM RX Meas. WCDMA RX Meas. WCDMA 1 TX Meas.

Figura A.14. a) Interfaz gráfica de la opción “WCDMA RX Measurement”

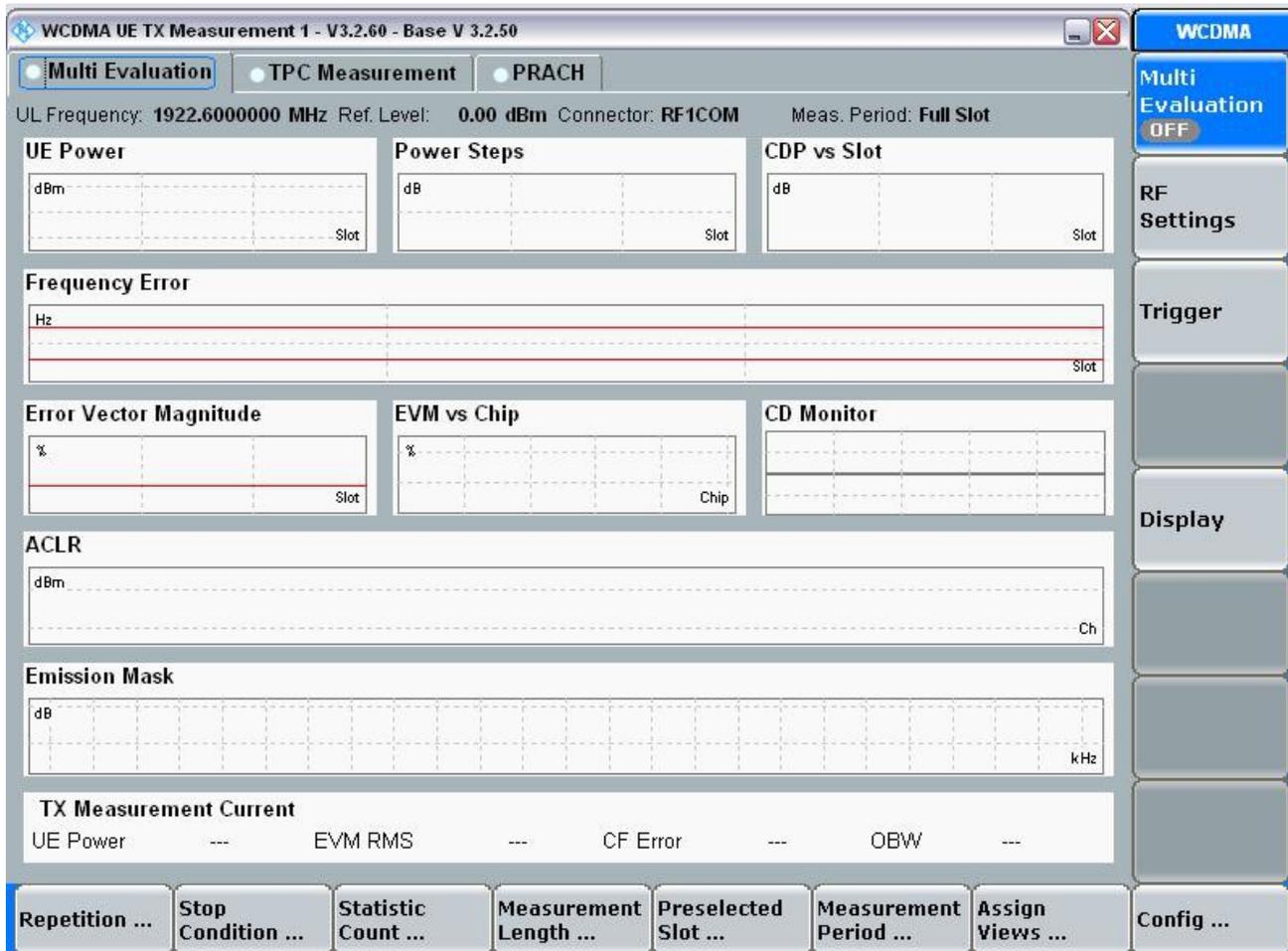


Figura A.14. b) Interfaz gráfica de la opción “WCDMA TX Measurement”.

- Posibilidad 5 y 6: Si seleccionamos WIMAX o WLAN, sólo es preciso modificar los parámetros de la red, modificando directamente su valor sobre la interfaz que se muestra en pantalla o haciendo *click* sobre la entrada “config”. Con esta última opción podremos considerar los parámetros de entrada y salida de RF (en el subapartado “RF Settings”) así como otras opciones más avanzadas para realizar una configuración más completa.

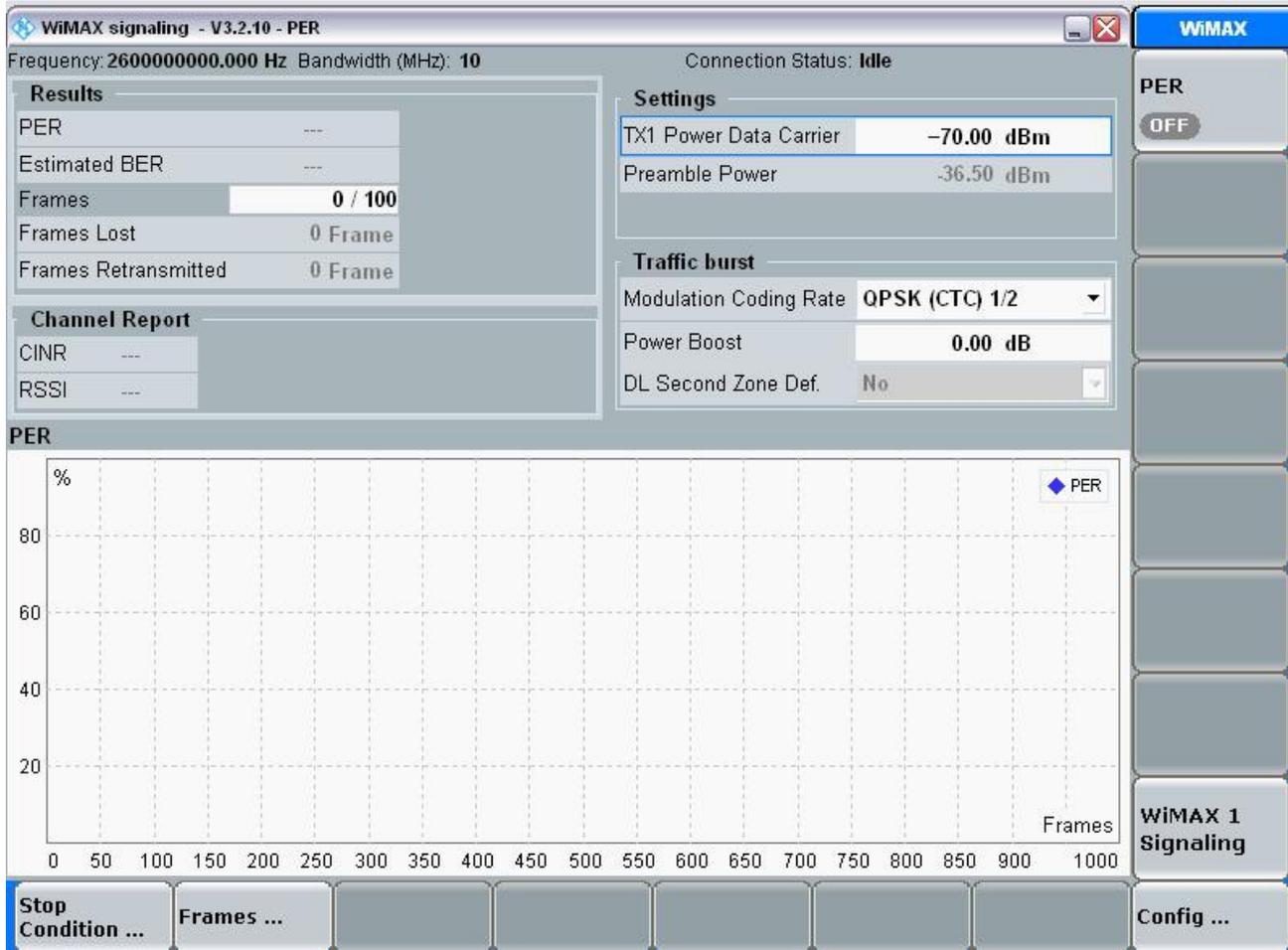


Figura A.15. Interfaz gráfica de la opción “WIMAX PER”.

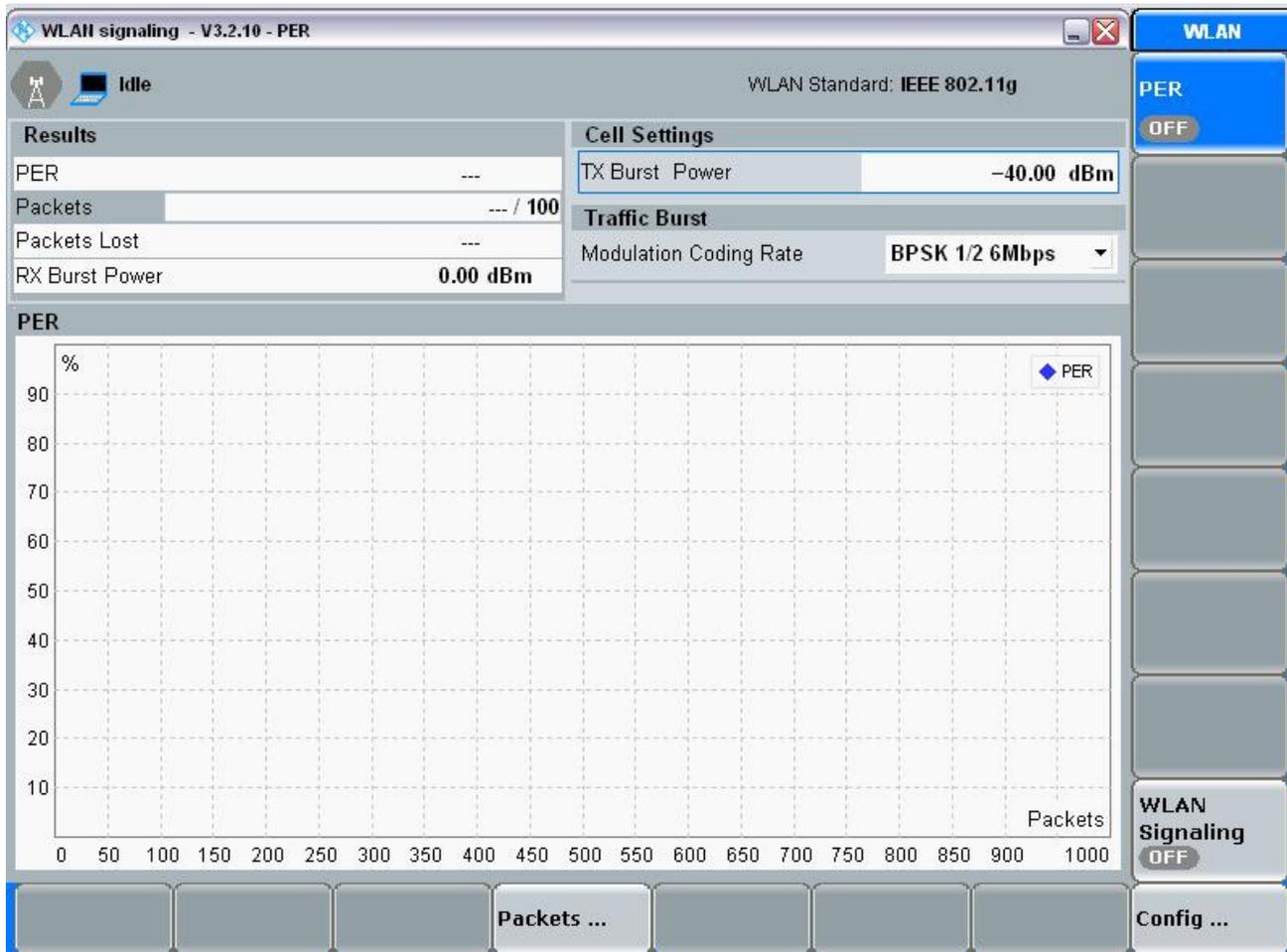


Figura A.16. Interfaz gráfica de la opción "WLAN PER".

### Paso 6

Una vez que se han configurado todos los parámetros conforme a nuestra aplicación, activamos la aplicación para que el R&S CMW500 comience a cumplir con su función. Para ello se hace *click* sobre la entrada que está en "OFF" (figura A.17. a) y se pulsa la tecla "ON/OFF" (figura A.17. b). Entonces podremos ver como su valor cambia a "ON", indicando que la aplicación está activada (figura A.17. c).

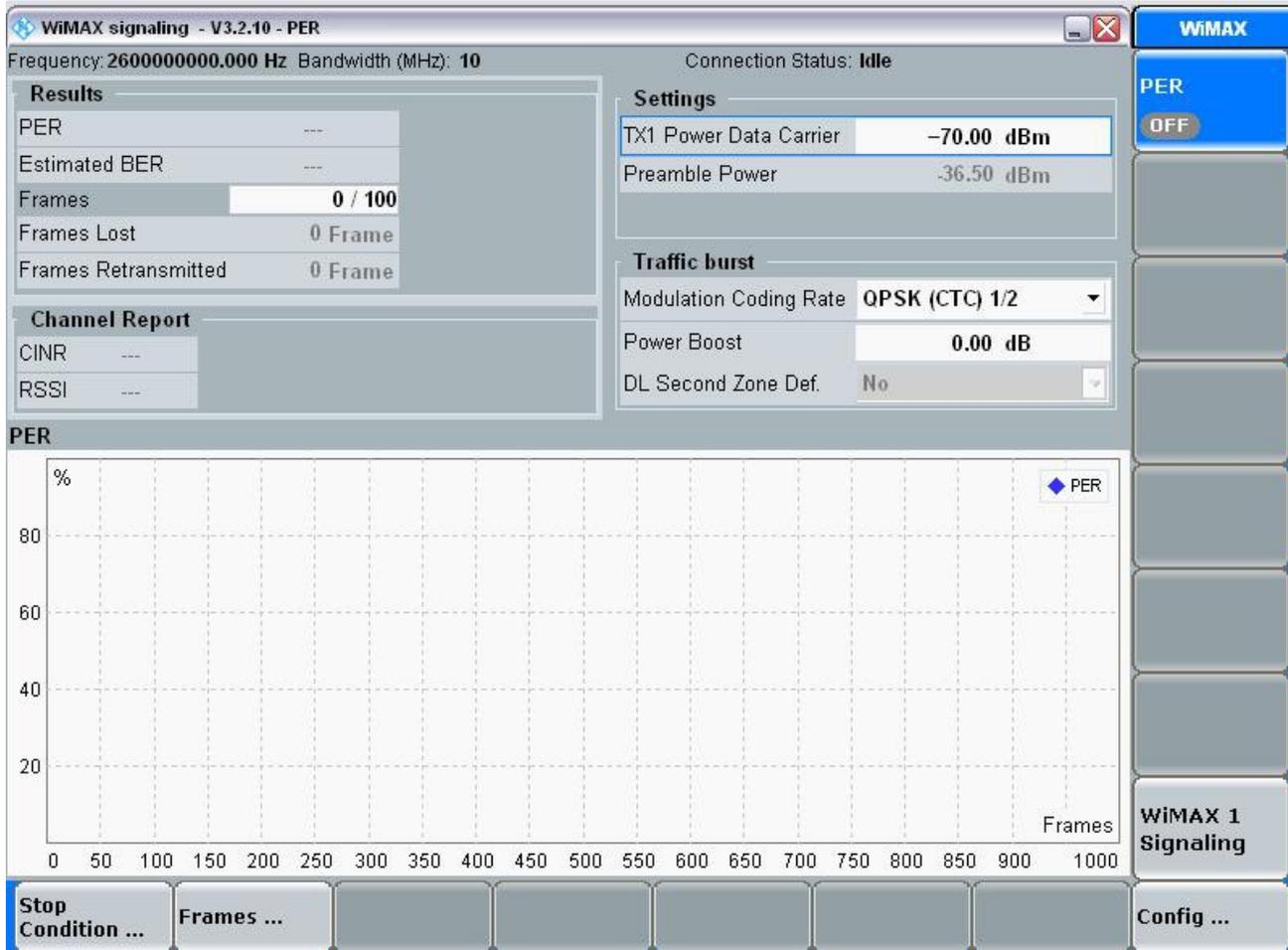


Figura A.17. a) Ejemplo de activación de la aplicación “WIMAX PER”.



Figura A.17. b) Ejemplo de activación de la aplicación “WIMAX PER”.

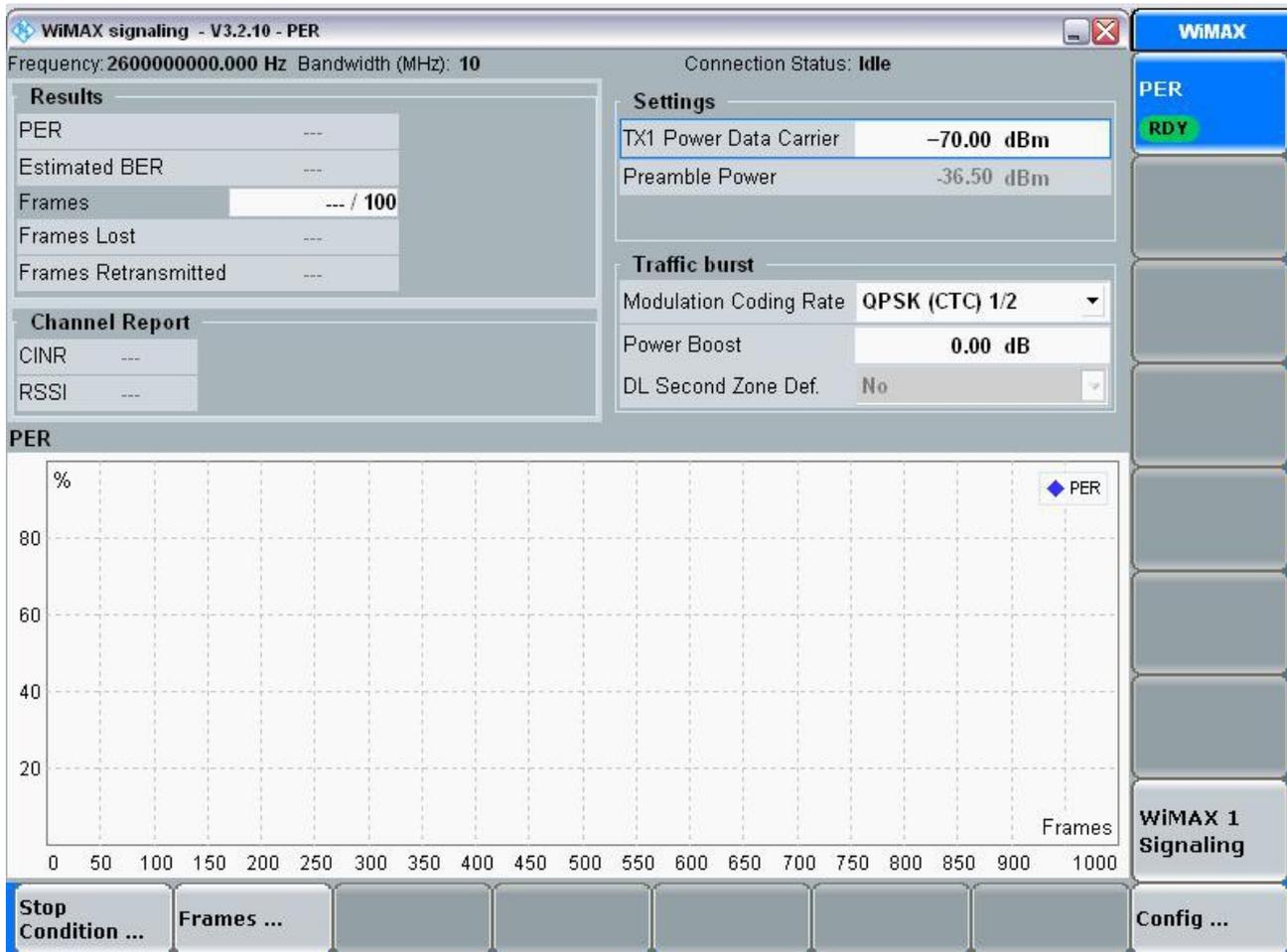


Figura A.17. c) Ejemplo de activación de la aplicación “WIMAX PER”.

## A.2.4. Metodología para generar una señal

### Paso 1

Se revisa que la antena esté correctamente conectada al conector de RF que vayamos a configurar como puerto de salida (suponiendo que sólo queremos implementar un generador).

### Paso 2

Abrimos el software de aplicación haciendo *click* sobre el archivo *CMW.exe* para arrancar el programa.

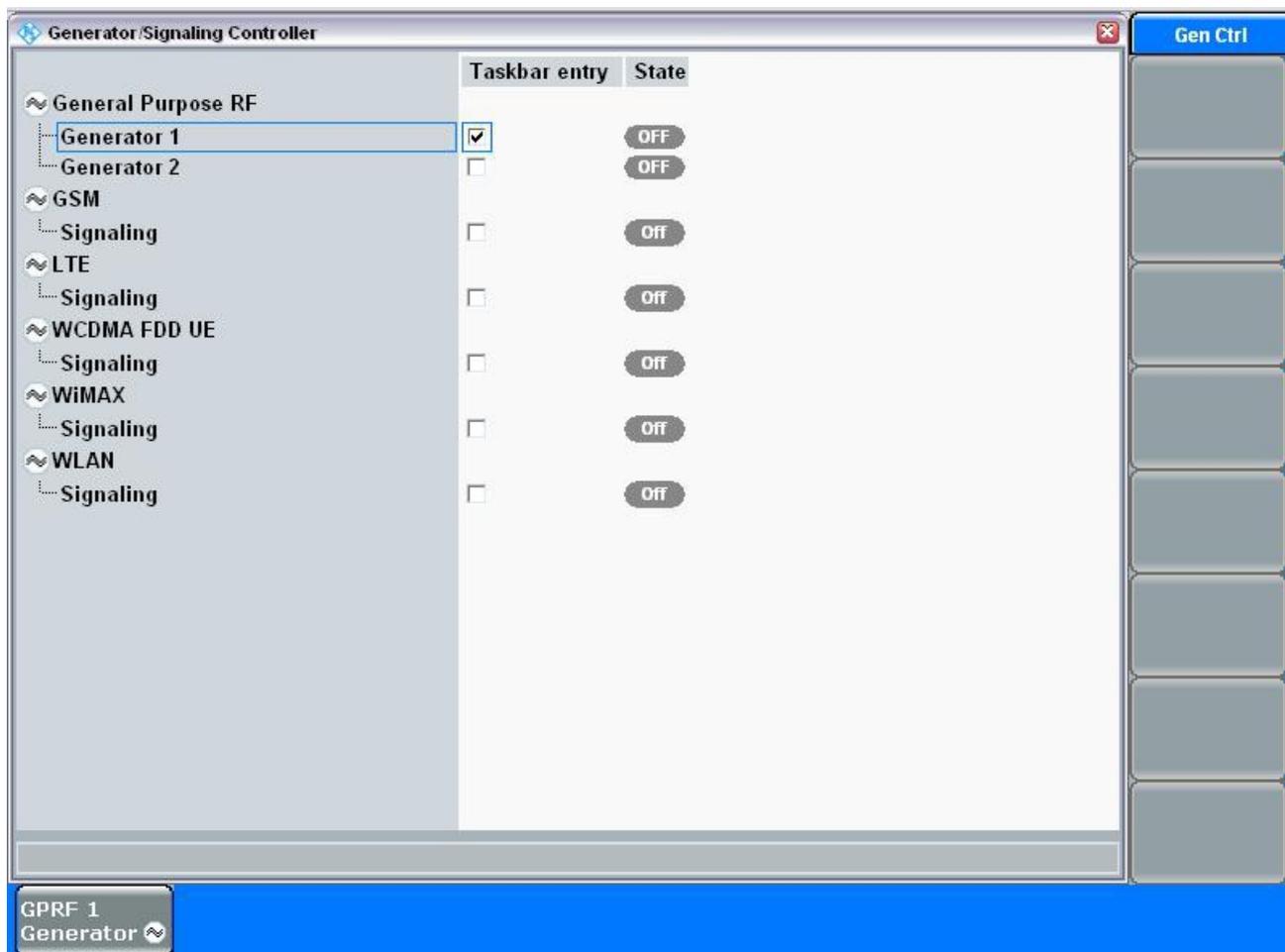


*Paso 3*

Seleccionamos la opción "Signal Gen" que aparece en pantalla para que el instrumento trabaje como generador. Para ello presionamos la tecla "SIGNAL GEN".

*Paso 4*

Hacemos *click* sobre el primer cuadro blanco correspondiente a "GPRF Generator 1", y se añadirá una nueva entrada de nombre "GPRF 1 Generator" sobre la barra de tareas que se muestra en el inferior de la pantalla.



*Figura A.18. Opción "GPRF Generator 1".*

*Paso 5*

Hacemos *click* sobre esa entrada que se acaba de añadir de nombre "GPRF 1 Generator" para abrir la interfaz gráfica que nos va a permitir configurar el generador como queremos.

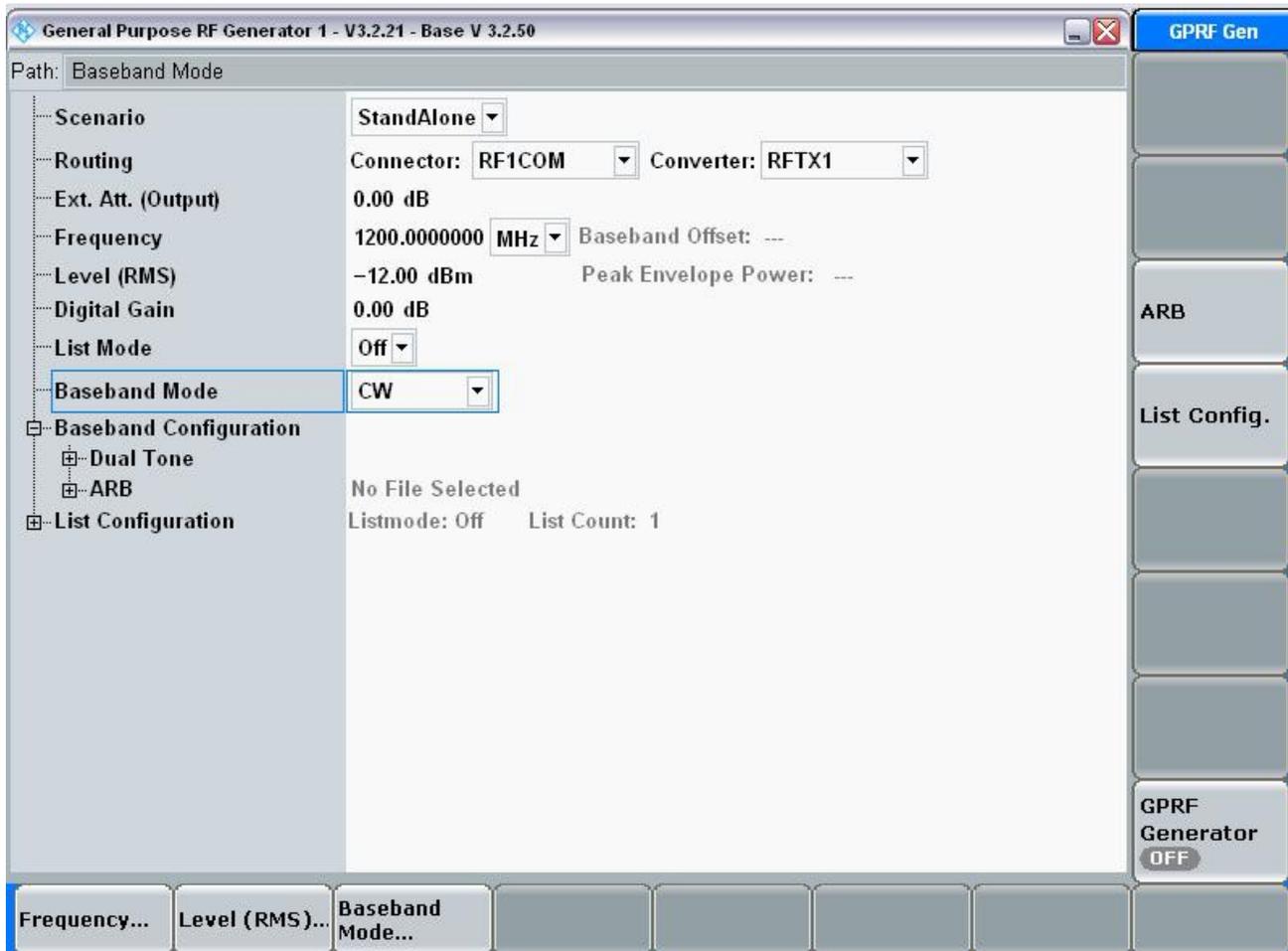


Figura A.19. Interfaz gráfica de “GPRF Generator 1”.

### Paso 6

En la interfaz gráfica podemos modificar algunos parámetros. Los valores que configuremos van a determinar las características de la señal que se va a generar. Ajustamos todos los parámetros que necesitemos y cuando esté todo preparado, activamos el generador.

### Paso 7

Como podemos ver, la entrada "GPRF 1 Generator" está en "OFF" (figura A.20. a), luego inicialmente la aplicación está desactivada. Hacemos *click* sobre dicha entrada y presionamos la tecla "ON/OFF". Entonces podremos ver como su valor cambia a "ON", indicando que la aplicación está activada (figura A.20. b).

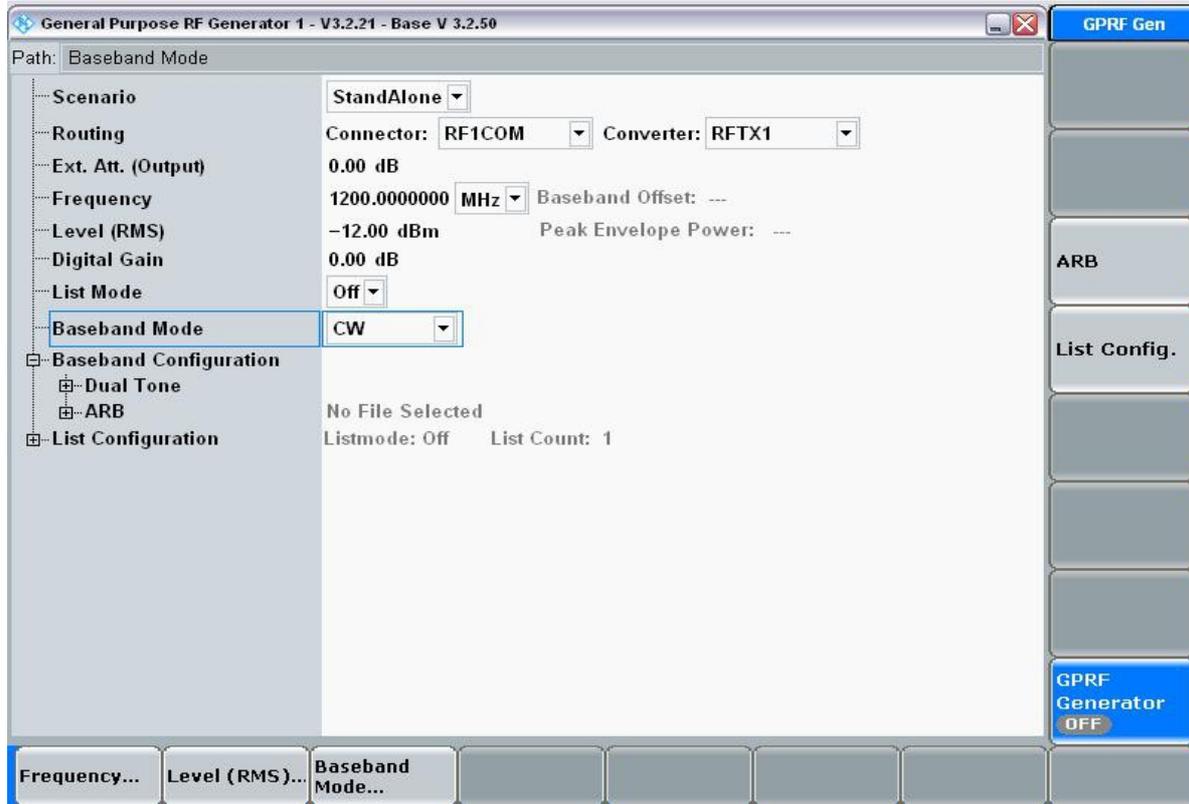


Figura A.20. a) Aplicación “GPRF Generator 1” desactivada.

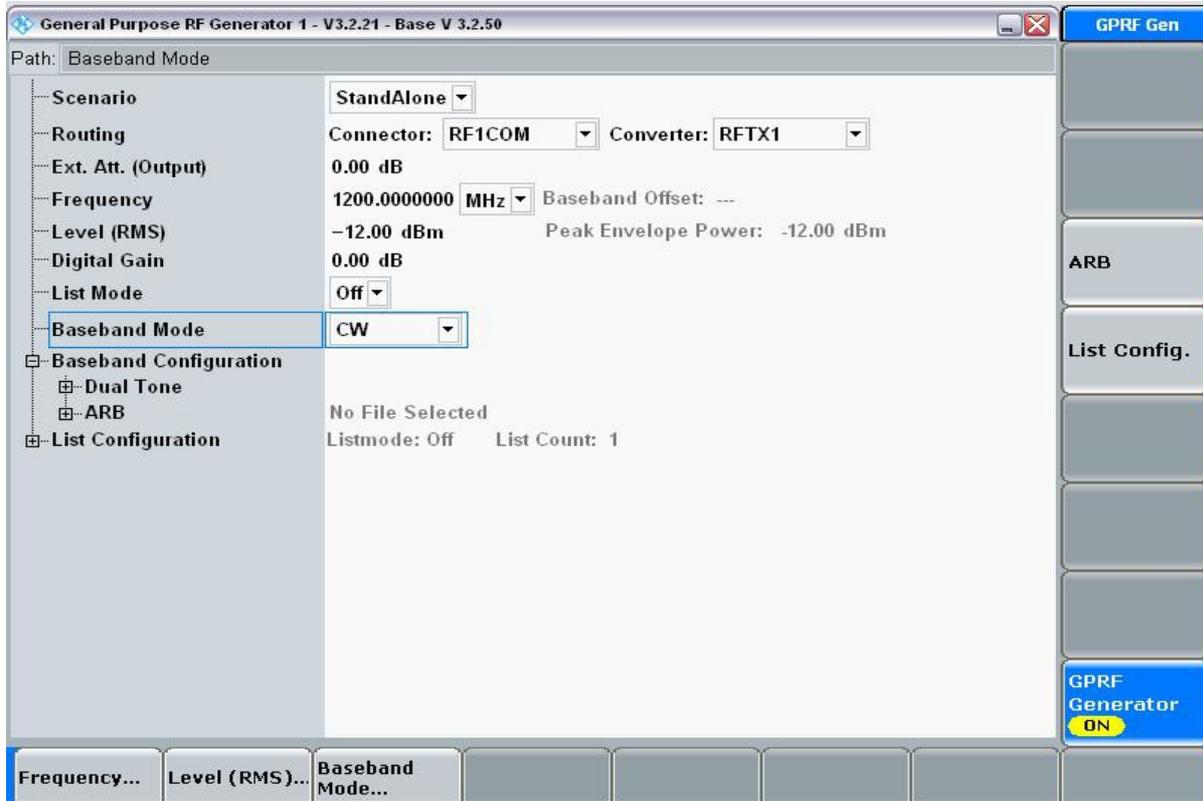


Figura A.20. b) Aplicación “GPRF Generator 1” activada.



## A.2.5. Metodología para generar una célula móvil

### *Paso 1*

Se revisa que la antena esté correctamente conectada al conector de RF que vayamos a configurar como puerto de entrada y salida (suponiendo que el conector de entrada y salida es el mismo).

### *Paso 2*

Abrimos el software de aplicación haciendo *click* sobre el archivo *CMW.exe* para arrancar el programa.

### *Paso 3*

Seleccionamos la opción "Signal Gen" que aparece en pantalla para que el instrumento trabaje como generador. Para ello presionamos la tecla "SIGNAL GEN".

### *Paso 4*

Seleccionamos la tecnología sobre la que vamos a desarrollar la comunicación (se pueden ver dos ejemplos de aplicación sobre el estándar GSM y UMTS, en los apartados 6.1 y 6.2 respectivamente) y hacemos *click* sobre el cuadro correspondiente a una de estas tecnologías: GSM, LTE, UMTS, WIMAX o WLAN .

### *Paso 5*

Automáticamente después, podremos ver en la barra horizontal que aparece en el inferior de la pantalla que se habrá añadido una nueva entrada con el mismo nombre de la opción que hemos seleccionado en el paso anterior. Hacemos *click* sobre esa entrada y se abrirá una nueva ventana cuyo título va a ser también el nombre de la opción escogida.

### *Paso 6*

Ajustamos los parámetros de la red. Los más significativos se muestran en la interfaz gráfica que aparece en pantalla, aunque podemos hacer *click* sobre la entrada "config" para realizar una configuración más completa.



### Paso 7

Configuramos todos los parámetros de RF que van a interferir sobre la señal (los puertos de entrada y salida del sistema, los parámetros de atenuación externa a la entrada y a la salida del instrumento) haciendo *click* sobre la entrada "Routing" contenida en la barra vertical derecha.

### Paso 8

Configuramos el componente DAU del instrumento. Para ello presionamos la tecla "SETUP" que se encuentra a la izquierda de la pantalla para abrir el diálogo de configuración del sistema.

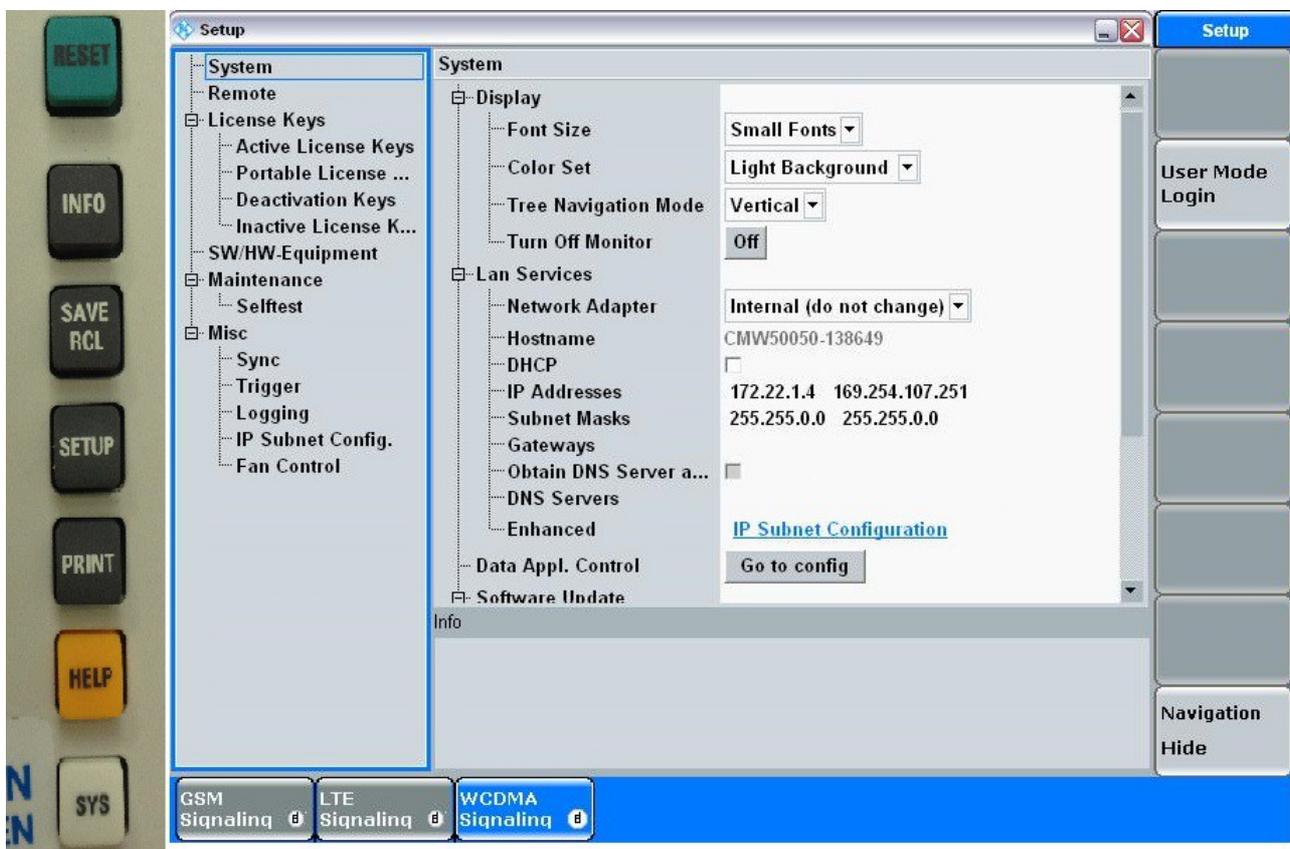


Figura A.21. Diálogo de configuración del sistema.

### Paso 9

En esa nueva ventana que se abre, hacemos *click* sobre el apartado "system" y buscamos el subapartado "Data Appl. Control". A continuación, hacemos *click* sobre "Go to config". Entonces se abrirá nuevo cuadro de diálogo llamado "Data Application Control".

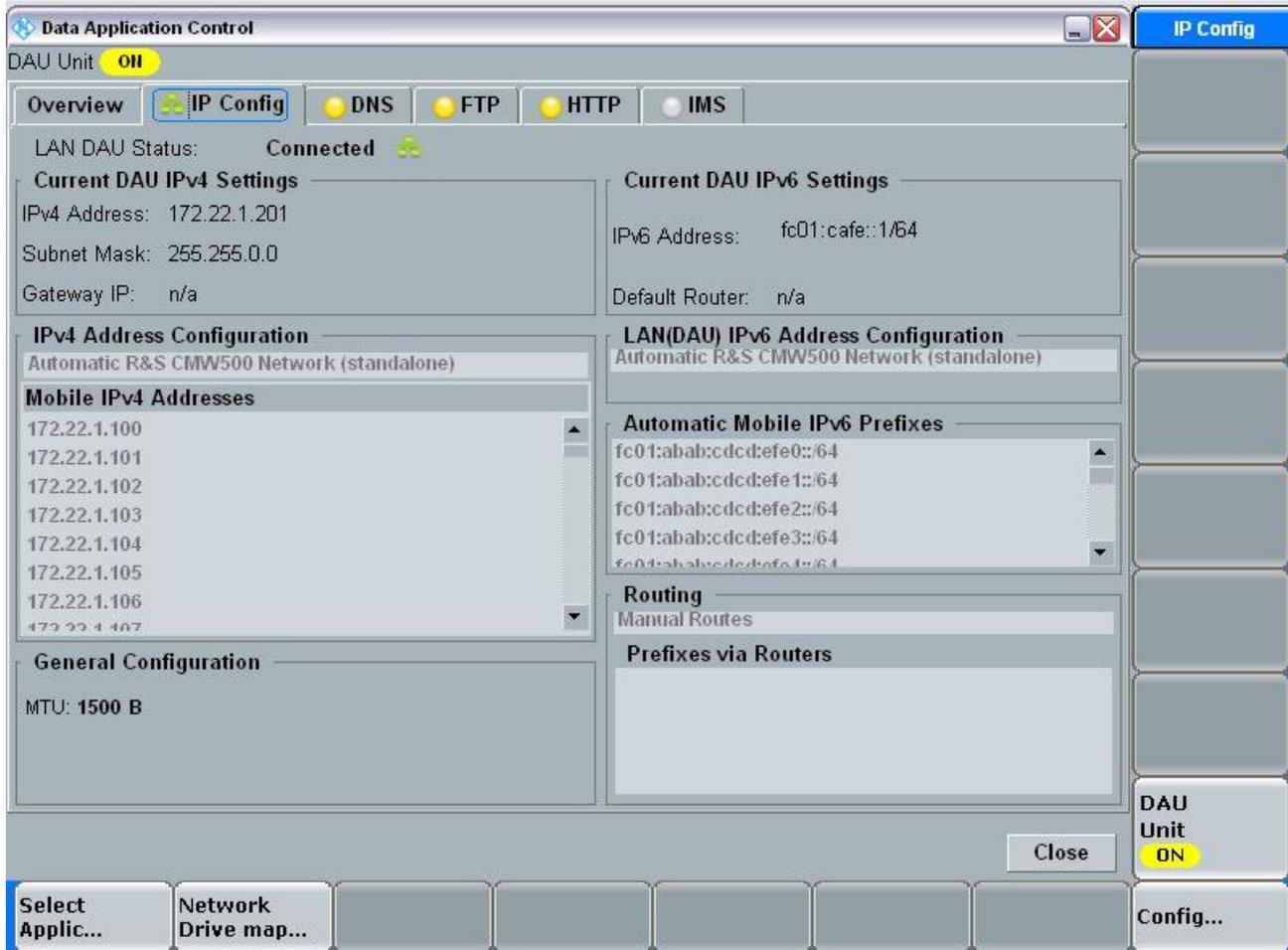


Figura A.22. Diálogo de configuración del componente DAU.

### Paso 10

Por último, hacemos *click* en "*config*" para abrir una nueva ventana llamada "*IP Configuration*". En "*IP Configuration*" seleccionamos el modo en que se van a configurar los parámetros de red de la DAU, según el escenario de nuestra aplicación (en el apartado 5.1.4 aparecen todas las posibilidades que podemos contemplar).

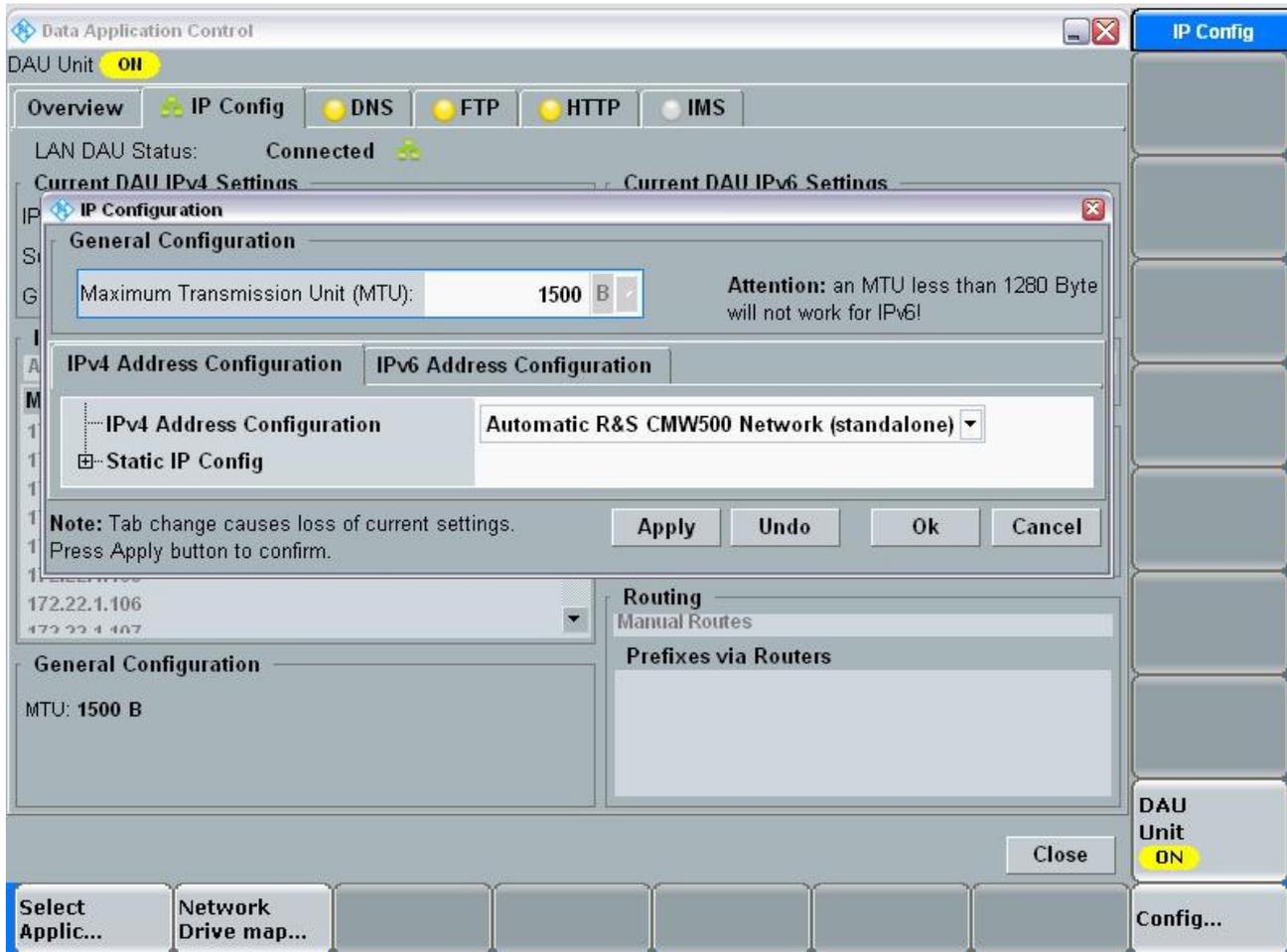


Figura A.23. Diálogo de configuración IP del componente DAU.

### Paso 11

Una vez que hemos seleccionado el modo de asignación IP de la DAU, aplicamos los cambios haciendo *click* sobre "Apply" y cerramos el diálogo con un *click* en "Ok". Finalmente, para volver a la interfaz gráfica de la aplicación, hacemos *click* sobre "Close".

### Paso 12

El sistema ya está configurado y preparado para realizar la función de una estación base, de manera que vamos a activar la aplicación. Para ello hacemos *click* sobre la entrada de la barra vertical derecha cuyo nombre coincida con el título de la interfaz, y además esté en "OFF". Luego presionamos la tecla "ON/OFF" y veremos que su valor cambia a "ON", indicando que la aplicación está activada, como en los casos anteriores.