

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE
TELECOMUNICACIÓN
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA



Trabajo Fin de Grado

**Desarrollo e implementación de un sistema de medidas de coberturas
radio basado en el equipo R&S CMW500.**



AUTOR: Daniel Argilés Valladares

DIRECTOR: José María Molina García-Pardo

Septiembre / 2017



AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, a mi familia, por haberme ayudado económicamente en momentos difíciles, durante toda mi etapa universitaria.

A José María Molina García-Pardo, director de este proyecto, por haberme dado la oportunidad de conocer al fabricante de equipamiento de test y medidas para comunicaciones por radio “Rohde & Schwarz”, tras la utilización del equipo R&S CMW500.

También, por concederme su tiempo y responder a mis dudas en cualquier momento.

A mi compañero y amigo José Luis, por brindarme ciertos conocimientos que han sido necesarios a la hora de afrontar el proyecto.

A mi otro compañero y amigo Cristóbal, por su ayuda a la hora de realizar las pruebas decisivas en el patio de la universidad.

A estos últimos agradecer también, su ayuda para desplazar todo el equipo necesario.

Muchas gracias.

Daniel Argilés Valladares



Autor	Daniel Argilés Valladares
e-mail del autor	daniel.argiles.valladares@gmail.com
Director	José María Molina Garcia-Pardo
e-mail del director	Josemaria.molina@upct.es
Título del TFG	Desarrollo e implementación de un sistema de medidas de coberturas radio basado en el equipo R&S CMW500.
Resumen:	<p>En la planificación de sistemas de radiocomunicaciones es común el uso de modelos de propagación para predecir las coberturas radio, y poder diseñar el sistema. Dichos modelos se basan en la recolección exhaustiva de medidas para poder tanto desarrollarlos como ajustarlos.</p> <p>El proyecto trata sobre el diseño e implementación de un sistema basado en un módem USB de datos móviles y un PC portátil, comunicados con el equipo R&S CMW500. Dicho equipo actúa como estación base de una red privada GSM para dar cobertura a la estación móvil.</p> <p>Por otro lado disponemos de un GPS conectado al PC portátil.</p> <p>Este sistema permite realizar mapas de cobertura registrando parámetros como la posición GPS, la potencia recibida, la calidad de la señal recibida (%), la red a la que el módem USB se ha conectado, fecha/hora, etc.</p> <p>Finalmente, estas medidas se gestionarán adecuadamente desde dicho PC portátil mediante un software desarrollado a tal efecto. Para ello nos basaremos en el lenguaje de programación de Matlab.</p>
Titulación	Grado en Ingeniería en Sistemas de Telecomunicación
Intensificación	Sistemas y Redes de Telecomunicación
Departamento	Tecnologías de la Información y las Comunicaciones
Fecha de presentación	Septiembre de 2017



Índice de contenido

1. Introducción	10
1.1 Objetivos.....	10
1.2 Herramientas utilizadas.....	11
1.2.1 Hardware	11
1.2.2 Software	11
1.3 Fases del proyecto	12
1.4 Estructura de la memoria	12
2. Sistema de comunicaciones móviles	13
2.1 Evolución de los sistemas de comunicaciones móviles.....	13
2.2 Estándar de comunicaciones móviles.....	15
2.2.1 Sistema de comunicación 2 G.....	15
2.2.2 Sistema de comunicación 2.5 G.....	17
2.2.3 Sistema de comunicación 3 G.....	20
2.2.4 Sistema de comunicación 4 G.....	21
2.2.5 Comparativa	23
3. Descripción de los equipos	24
3.1 R&S CMW500	24
3.1.1 Introducción	24
3.1.2 Funcionamiento del R&S CMW500 según el tipo de aplicación	26
3.1.3 Entorno software.....	27
3.2 Antenas bicónicas	30
3.3 GPS.....	32
3.3.1 Introducción	32
3.3.2 Modelo Garmin Etrex Vista	34
3.4 Módem USB.....	38
3.4.1 Módem USB Novatel Ovation MC950D.....	38



3.4.2 Tarjeta SIM Mini-UICC R&S CMW-Z04	38
4. Diseño del sistema de comunicaciones	39
4.3 Búsqueda de bandas libres.....	41
5. Configuraciones GSM Y UMTS mediante el equipo R&S CMW500	44
5.1 Configuración de GSM.....	45
5.1.2 Primeras pruebas utilizando GSM	50
5.2 Configuración de UMTS.....	55
6. Desarrollo del software de control	57
6.1 Introducción.....	57
6.2 Protocolos de comunicación	57
6.2.1 Comunicación PC- Módem USB.....	57
6.2.2 Comunicación PC- GPS	67
6.3 Interfaz gráfica.....	68
6.4 Descripción de la aplicación (Código Matlab)	71
7. Validación de los resultados	80
7.1 Adquisición de datos en función de la distancia R&S CMW500 – Módem USB ..	80
7.1.1 Mapa de posiciones.....	80
7.1.2 Gráfica calidad señal recibida (%) / distancia transmisor-receptor	90
7.2 Adquisición de datos en función de la Potencia de salida del R&S CMW500.....	91
7.2.1 Mapa de posiciones.....	91
7.2.2 Gráfica Calidad señal recibida (%) / Potencia de salida del R&S CMW500..	94
8. Conclusiones.....	96
8.1 Conclusiones.....	96
8.2 Líneas futuras	97
Referencias	98



Anexo	100
A.1 Metodología para generar una señal y célula móvil	100
A.2 Comandos AT soportados por el módem USB (AT+CLAC)	101

Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Esquema del proyecto a desarrollar.....	10
Ilustración 2. Evolución de la red celular [2].	13
Ilustración 3. Arquitectura de red GSM [5].	17
Ilustración 4. Arquitectura GPRS [7].....	18
Ilustración 5. Ejemplo de encaminamiento de paquetes [6].	20
Ilustración 6. Arquitectura UMTS [8].....	21
Ilustración 7. Arquitectura LTE [10].....	23
Ilustración 8. Comparativa de los sistemas de comunicaciones móviles [11].	23
Ilustración 9. Rohde & Schwarz CMW500 frontal [12].	24
Ilustración 10. Rohde & Schwarz CMW500 vista trasera [12].	24
Ilustración 11. Primera pantalla del programa.....	27
Ilustración 12. R&S CMW500 como analizador.....	29
Ilustración 13. R&S CMW500 como generador/estación base.	30
Ilustración 14. Antena SBA 9113.	31
Ilustración 15. Antena SBA 9113 real. Foto realizada en una de las pruebas en el laboratorio SiCoMo.	32
Ilustración 16. Se necesitan 3 satélites para calcular la posición (latitud y longitud) y un cuarto para calcular la altura [16].	33
Ilustración 17. Vista frontal del GPS [17].....	34
Ilustración 18. Vista posterior del GPS [17].....	34
Ilustración 19. Menús del GPS [17].	36
Ilustración 20. Buscando satélites y midiendo coordenadas.	37
Ilustración 21. Módem MC950D [19].	38
Ilustración 22. Tarjeta SIM CMW-Z04 [20].	38
Ilustración 23. Diagramas de radiación omnidireccional y direccional [21].	39



Ilustración 24. Momento de las pruebas en el patio de la Facultad de Telecomunicaciones de la UPCT.....	40
Ilustración 25. Momento de las pruebas en el patio de la Facultad de Telecomunicaciones de la UPCT.....	40
Ilustración 26. Analizador de espectros en búsqueda de frecuencias portadoras libres.	41
Ilustración 27. Rango portadoras libres (944-951) MHZ.	42
Ilustración 28. Portadoras libres a partir de 960 MHz.	42
Ilustración 29. Configuración del APN para conectar al CMW500.....	45
Ilustración 30. Módem USB registrado y enlazado a la red. Ventana de aviso de Escritorio Movistar.	46
Ilustración 31. Red del R&S CMW500 reconocida por el módem USB Novatel. Mostrado por Escritorio Movistar.	46
Ilustración 32. Módem USB registrado y enlazado a la red. Pantalla del equipo R&S CMW500.	46
Ilustración 33. Módem USB conectado con éxito por conmutación de paquetes al R&S CMW500.	47
Ilustración 34. Conexión por conmutación de paquetes establecida en GSM 900.	47
Ilustración 35. Kbits/s frente a tiempo de conexión.	48
Ilustración 36. Kbits/s frente a tiempo de conexión.	48
Ilustración 37. RLC Throughput o Rendimiento RLC.	49
Ilustración 38. SMS recibido en Escritorio Movistar.	50
Ilustración 39. Instante en el que R&S CMW500 estaba recibiendo un SMS enviado por el módem USB.	51
Ilustración 40. Llamada establecida. Pantalla del R&S CMW500.....	52
Ilustración 41. Selección de la red desde el móvil iPhone.	52
Ilustración 42. Enviando SMS desde iPhone a R&S CMW500.	53
Ilustración 43. Instante en el que R&S CMW500 estaba recibiendo un SMS enviado por el móvil iPhone.	53
Ilustración 44. SMS recibido por R&S CMW500.....	54
Ilustración 45. Módem USB registrado y enlazado a la red por el CMW500.....	56
Ilustración 46. Target Power configurado en el control de potencia de transmisión del UE.....	56



Ilustración 47. Puertos COM vistos desde el administrador de dispositivos del PC.	58
Ilustración 48. Configuración de PuTTY.....	60
Ilustración 49. Consola de comandos de PuTTY.....	60
Ilustración 50. Activación de eco local en PuTTY.	61
Ilustración 51. Tabla de referencia para RSSI [22].	62
Ilustración 52. Tabla de referencia para BER [23]	63
Ilustración 53. Tabla de referencia para el comando AT + CSQ [22].....	63
Ilustración 54. Extremo del PC Interface cable. Esta parte del cable se conecta con la parte superior del GPS [17].	67
Ilustración 55. Entorno de diseño de GUI para la creación de nuestra aplicación.	68
Ilustración 56. Pantalla principal de nuestra aplicación al ejecutar con Matlab.	68
Ilustración 57. Pantalla principal de nuestra aplicación en Matlab.	69
Ilustración 58. Abrir Documento y Guardar Documento desde nuestra aplicación Matlab.....	70
Ilustración 59. Pantalla principal de nuestra aplicación en Matlab.	70
Ilustración 60. Patio de la facultad de Telecomunicaciones de la UPCT. [24].	80
Ilustración 61. Facultad de Telecomunicaciones de la UPCT. [24].....	81
Ilustración 62. Parking de la facultad de Telecomunicaciones de la UPCT y arco de Antigones al fondo [24].	81
Ilustración 63. Posición A.....	82
Ilustración 64. Posición B.....	82
Ilustración 65. Posición C.....	83
Ilustración 66. Posición D.	83
Ilustración 67. Posición E.....	84
Ilustración 68. Posición F.	84
Ilustración 69. Posición G.	85
Ilustración 70. Posición H.	85
Ilustración 71. Posición I.....	86
Ilustración 72. Posición J.....	86
Ilustración 73 Posición K.....	87
Ilustración 74. Posición L.	87
Ilustración 75. Posición M.	88
Ilustración 76. Posición N.	88



Ilustración 77. Posición Ñ.	89
Ilustración 78. Gráfica de la calidad señal recibida (%) / distancia R&S CMW500-módem USB.....	90
Ilustración 79. Posición E.	92
Ilustración 80. Posición F.	93
Ilustración 81. Posición G.	93
Ilustración 82.Posición H.	94
Ilustración 83. Gráfica calidad señal recibida (%) / Potencia de salida del R&S CMW500.	95
Ilustración 84. "Limited Service" debido a un valor muy bajo asignado para la potencia de salida del R&S CMW500.	96

Índice de tablas

Tabla 1. Selección de frecuencias portadoras para nuestro sistema de comunicaciones	43
Tabla 2. Código Matlab de la ventana principal.	72
Tabla 3. Código Matlab para “abrir archivo”.....	72
Tabla 4. Código Matlab para “Guardar archivo”.....	73
Tabla 5. Código Matlab para selección de puerto COM en la conexión módem USB- PC.	75
Tabla 6. Código Matlab para el botón “Recibir datos”.....	79
Tabla 7. Datos obtenidos con una Pot.salida máxima del R&S CMW500: -27 dBm	90
Tabla 8.Comparación de datos obtenidos variando la Pot.salida del R&S CMW500	94

1. Introducción

1.1 Objetivos

El objetivo de este proyecto es el desarrollo de un software que permita la gestión y el control del módem USB Novatel MC950D (el cual recibe una señal transmitida por el equipo R&S CMW500) y del GPS (Garmin Etrex Vista) para la realización de una campaña de medidas en un área geográfica determinada.

Dicho de otra manera, el proyecto trata sobre el diseño e implementación de un sistema de medidas de coberturas radio, compuesto por un módem de datos móviles que actúa como estación móvil, y el equipo R&S CMW500, que tiene la función de estación base multi-sistema de una red privada GSM.

Aunque existe una comunicación en ambos sentidos, nos centraremos en el enlace descendente, por ello diremos que el módem USB es el receptor y el R&S CMW500 el transmisor.

Por otro lado disponemos de un GPS conectado a un PC portátil. Este sistema permite realizar mapas de cobertura registrando parámetros como la posición GPS, la potencia recibida y parámetros de calidad del enlace entre otros. Finalmente, estas medidas se gestionarán adecuadamente desde el PC mediante un software desarrollado a tal efecto, utilizando la herramienta Matlab.

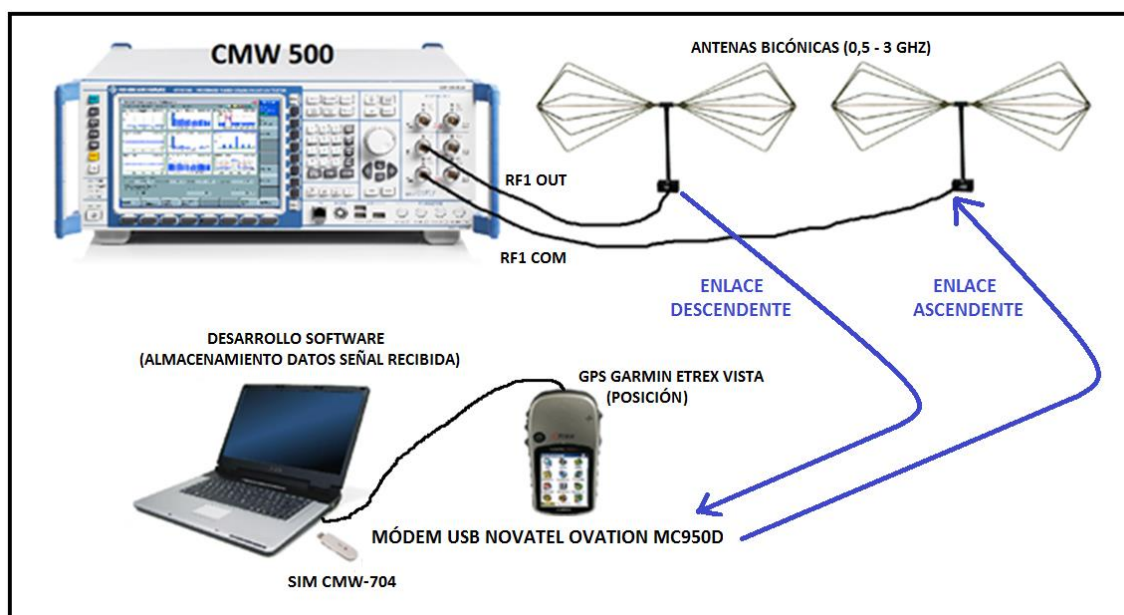


Ilustración 1. Esquema del proyecto a desarrollar.



Observando la imagen (Ilustración 1), podemos comprobar que el proyecto se va a dividir en dos partes fundamentales para poder llevar a cabo su desarrollo e implementación:

- Radiofrecuencia
- Informática

La radiofrecuencia estará presente en la comunicación entre las antenas del equipo R&S CMW500 y el módem USB, así como en la comunicación por satélite del GPS. La informática la encontraremos en el software integrado en el equipo R&S CMW500, para poder configurar más adelante la red privada GSM, así como cualquier parámetro (frecuencias, canales, potencia de transmisión, atenuación externa, puertos de salida y entrada, etc.). También la encontraremos en el software que desarrollaremos en Matlab, en el PC portátil, para la adquisición y almacenamiento de datos recibidos en el módem USB. Esto último es quizás la parte más pesada del proyecto.

1.2 Herramientas utilizadas

1.2.1 Hardware

- R&S CMW500
- Antenas bicónicas
- GPS Garmin Etrex Vista
- Módem USB Novatel Ovation MC950D (tarjeta SIM CMW-704)
- PC portátil

1.2.2 Software

- CMW.exe (instalado en el equipo R&S CMW500)
- Matlab (instalado en el PC portátil): Desarrollo software para el almacenamiento de datos.



1.3 Fases del proyecto

1. Lectura de proyectos iniciales de otros alumnos.
2. Familiarización con el equipo R&S CMW500 y software CMW.exe
3. Diseño de nuestro sistema de comunicación.
4. Configuraciones GSM y UMTS y primeras pruebas en el laboratorio SiCoMo.
5. Estudio de protocolos de comunicación PC-módem USB, primeras pruebas con comandos AT y PuTTY.
6. Programación en Matlab y búsqueda e interpretación de comandos AT para nuestra aplicación.
7. Instalación drivers del GPS Garmin, y mediciones con éste en espacio abierto.
8. Búsqueda código Matlab para extraer las coordenadas del GPS.
9. Desarrollo de interfaz gráfica con Matlab.
10. Estudio de Frecuencias portadoras libres.
11. Pruebas decisivas en el patio y validación de resultados. Unión de Radiofrecuencia e Informática.
12. Redacción de la memoria.

1.4 Estructura de la memoria

En el [capítulo 1](#) se lleva a cabo una breve introducción sobre el proyecto, donde se observa un esquema con los diferentes equipos. El [capítulo 2](#) muestra el marco teórico e histórico de las comunicaciones móviles. En el [capítulo 3](#) pasamos a describir más a fondo cada uno de los equipos del proyecto. En el [capítulo 4](#) se estudia el diseño de nuestro sistema de comunicaciones y se ve la importancia de buscar frecuencias portadoras libres. El [capítulo 5](#) muestra cómo configurar una red GSM y UMTS con el equipo R&S CMW500. En el [capítulo 6](#) se habla sobre el software que hemos creado con Matlab y los protocolos de comunicación que hemos usado. En el [capítulo 7](#) se defienden los resultados obtenidos tras realizar ciertas pruebas al unir la parte de radiofrecuencia con la parte informática de este proyecto. En el [capítulo 8](#) se hace una pequeña evaluación de los resultados obtenidos y las dificultades encontradas.

2. Sistema de comunicaciones móviles

2.1 Evolución de los sistemas de comunicaciones móviles

La creación de los primeros sistemas de comunicaciones móviles surge a mediados de los años 40 del siglo XX. El primer servicio público de telefonía móvil aparece 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 ofrecer 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 (Ilustración 2), 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 [1].

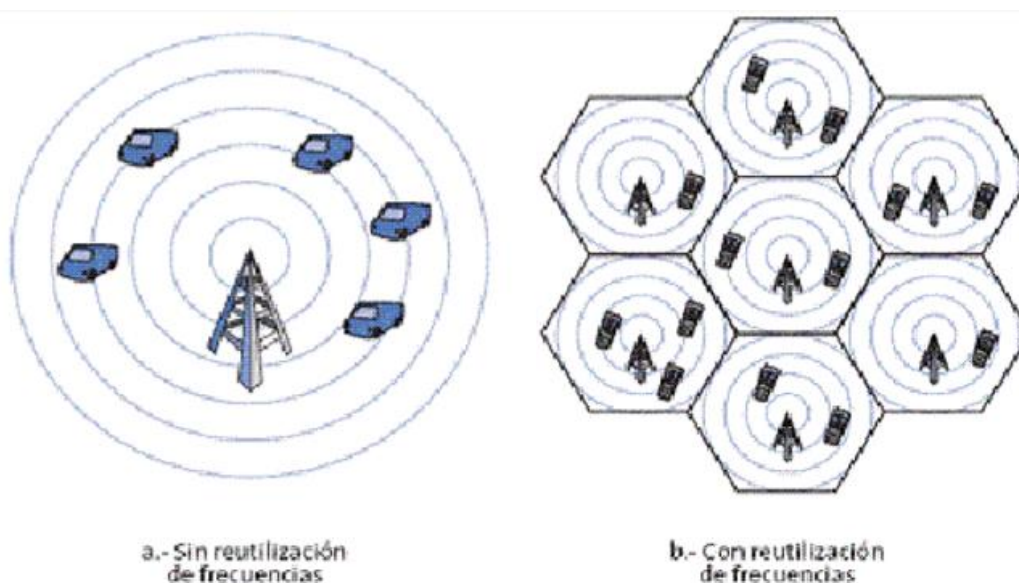


Ilustración 2. Evolución de la red celular [2].



En los años ochenta surgieron los sistemas de primera generación. Cada país desarrolló un sistema propio. 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 [3].

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 [4].



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 [4].

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

2.2 Estándar de comunicaciones móviles

En este subapartado, vamos a centrarnos principalmente en los estándares de comunicaciones móviles que son soportados por el R&S CMW500.

2.2.1 Sistema de comunicación 2 G

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 [3]. 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 intercambiaran datos o no durante el proceso de conexión [4].

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 [4].

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 [4].



- 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 [1].
- 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) [1].
- Controlador de estaciones base, BSC (Base Station Controller): constituye el primer nivel de concentración de tráfico para minimizar los costes de transmisión [3].
- 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 [3].
- 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 [1].
- 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 [1].
- 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 tanto, es el nexo de unión de la red GSM con otras redes externas [3]. También se encarga de la gestión de los SMS [1].
- Centro de operación y mantenimiento, OMC (Operation and Maintenance Center): se dedica a tareas de mantenimiento y gestión, por eso se comunica con todos los elementos de la red [1].
- Registro de identificación de registros, EIR (Equipment Identity Register): su función es evitar que se utilicen equipos móviles no autorizados [3].

- Centro de autenticación, AUC (Authentication Center): gestiona los datos de seguridad y autenticación de los usuarios [3].

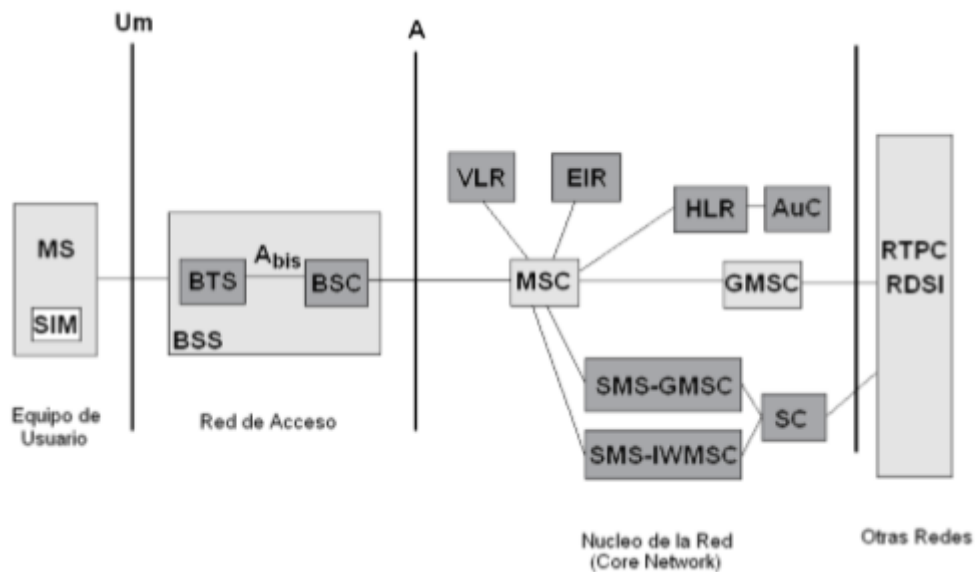


Ilustración 3. Arquitectura de red GSM [5].

2.2.2 Sistema de comunicación 2.5 G

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 [6].

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 desarrolló para corregir las deficiencias de GSM en cuanto a la transmisión de datos, introduciendo para ello una red de conmutación de paquetes [4].

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 (Ilustración 4):

- 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. Otras de sus tareas son, 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 [4].
- 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 [4].

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 [4].

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 [4].

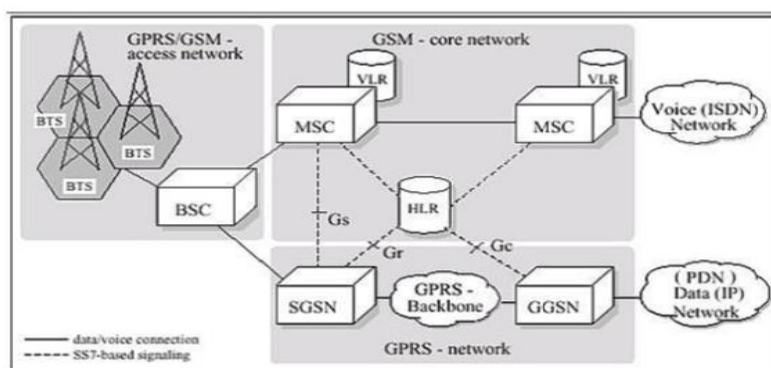


Ilustración 4. Arquitectura GPRS [7].

Proceso de conexión

En esta sección vamos a ver qué ocurre cuando queremos transmitir un paquete de datos a través de GPRS y cómo llega a su destino.

Cuando se quiere transmitir un mensaje, éste se divide en paquetes cortos que contienen las direcciones origen y destino en su cabecera. Cada paquete puede 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 [4].

El proceso de enrutamiento que sigue cada paquete por la interfaz radio hasta alcanzar su destino se explica a continuación (Ilustración 5) [4].

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” [4].

2. Después la estación base SGSN-S establece una relación con la puerta de enlace GGSNS 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 [4].

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].

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 [4].

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 [4].

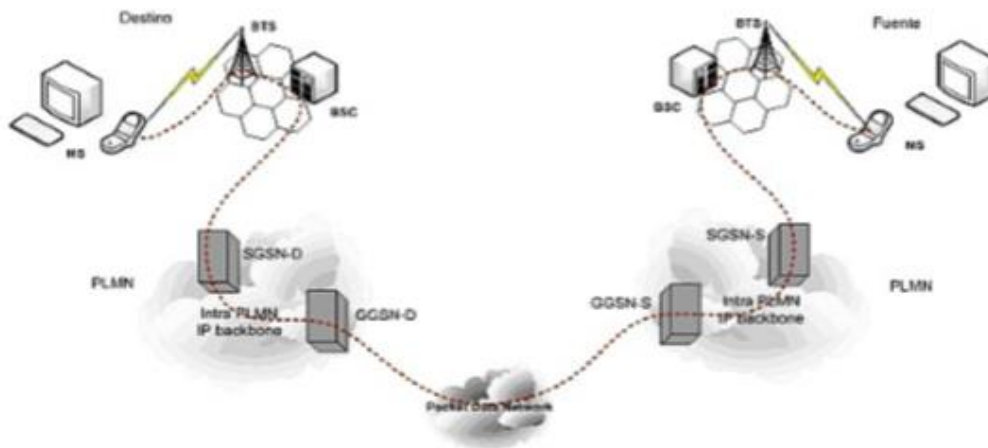


Ilustración 5. Ejemplo de encaminamiento de paquetes [6].

2.2.3 Sistema de comunicación 3 G

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 [1].

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 [4].
- 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 [4].

Arquitectura del sistema W-CDMA

La arquitectura general del sistema UMTS consta básicamente de tres bloques: 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 (Ilustración 6) [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) [4].
- Nodo B: Es el responsable de la transmisión y recepción hacia/desde los terminales de usuario, equivalente a la estación base en GSM [4].
- 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 [4].

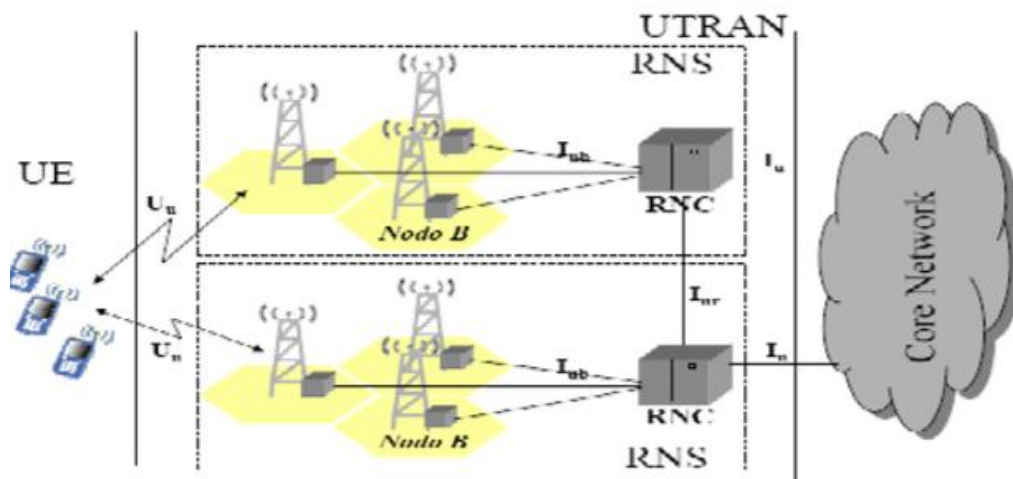


Ilustración 6. Arquitectura UMTS [8].

2.2.4 Sistema de comunicación 4 G

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 [9].

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 CSFDMA (Single Carrier Frequency Division Multiple Access) [4].

Arquitectura del sistema LTE

En las especificaciones se denomina a la arquitectura del sistema LTE (Ilustración 7) 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 [4]:

- Equipo de usuario: 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 [4].
- 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 [4].
- 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 [4].
- 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 [4].
- 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 [4].

- 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 [4].

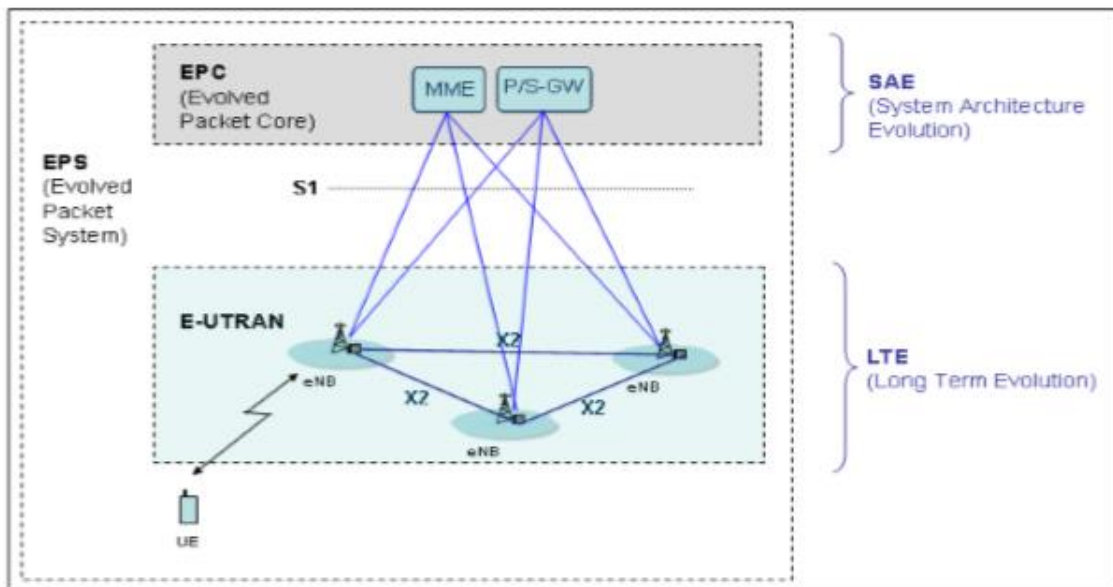


Ilustración 7. Arquitectura LTE [10].

2.2.5 Comparativa

En este apartado podemos observar una imagen de una tabla (Ilustración 8), que resume las principales características de todos los sistemas de comunicaciones de telefonía móvil mencionados anteriormente.

	2G/2.5G	3G	3.5G /3.5G Plus	4G
	GSM/GPRS	UMTS	HSPA (HSDPA/HSUPA)	LTE
Bandas frecuencias	900 MHz 1800 MHz	900 MHz 2100 MHz	900 MHz 2100 MHz	700 MHz- 3,5 GHZ
Técnica de acceso	TDMA	WCDMA	WCDMA	OFDMA (DL) SC-FDMA (UL)
Ancho de banda	200 kHz	5 MHz	5 MHz	1,4- 20 MHz
Velocidad Máx.DL	9,6/80 Kbps	384 Kbps	14 Mbps	100 Mbps
Velocidad Máx.UL	9,6/20 Kbps	128 Kbps	5,7 Mbps	50 Mbps

Ilustración 8. Comparativa de los sistemas de comunicaciones móviles [11].

3. Descripción de los equipos

3.1 R&S CMW500

3.1.1 Introducción

El R&S CMW500 es el instrumento perfecto para proporcionar soluciones de pruebas de señalización inalámbrica para estándares como LTE, WCDMA, GSM, CDMA2000 1xRTT y CDMA2000 1xEV-DO.

En la actualidad, R&S CMW500 es la plataforma multiestándar de referencia más popular para medidas en equipos de usuario. La utilizan por igual operadores de red, laboratorios de ensayo, proveedores de teléfonos y fabricantes de chipsets.



Ilustración 9. Rohde & Schwarz CMW500 frontal [12].



Ilustración 10. Rohde & Schwarz CMW500 vista trasera [12].

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 [4].

Además, sus poderosas herramientas de análisis de protocolos aceleran la búsqueda de errores y el procesamiento de registros.

Dispone 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 [4]

También consta de puertos de entrada Ethernet, para poder conectar el equipo a una red LAN.

Tiene un PC integrado con sistema operativo Windows XP, lo cual hace más sencilla la manejabilidad del equipo. Desde ahí se puede ejecutar el software de aplicación del instrumento cmw.exe, 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 [4].

Es posible conectar un ratón y un teclado al equipo R&S CMW500 para mayor comodidad.

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 [4].

3.1.2 Funcionamiento del R&S CMW500 según el tipo de aplicación

A su vez, 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) [13].

R&S CMW500 como generador de RF

Esta función del R&S CMW500 permite proporcionar una señal de radiofrecuencia a una frecuencia constante, o 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 [14].

R&S CMW500 como analizador de RF

La función 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 rápido que otras soluciones más convencionales [15].

R&S CMW500 como estación base

Esta función, 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 función 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 [14].

3.1.3 Entorno software

Al arrancar el programa, la primera pantalla de la aplicación del instrumento muestra dos opciones a elegir (Ilustración 11). Estas opciones van a determinar la función que va a realizar el R&S CMW500 (Como analizador o generador) [4].

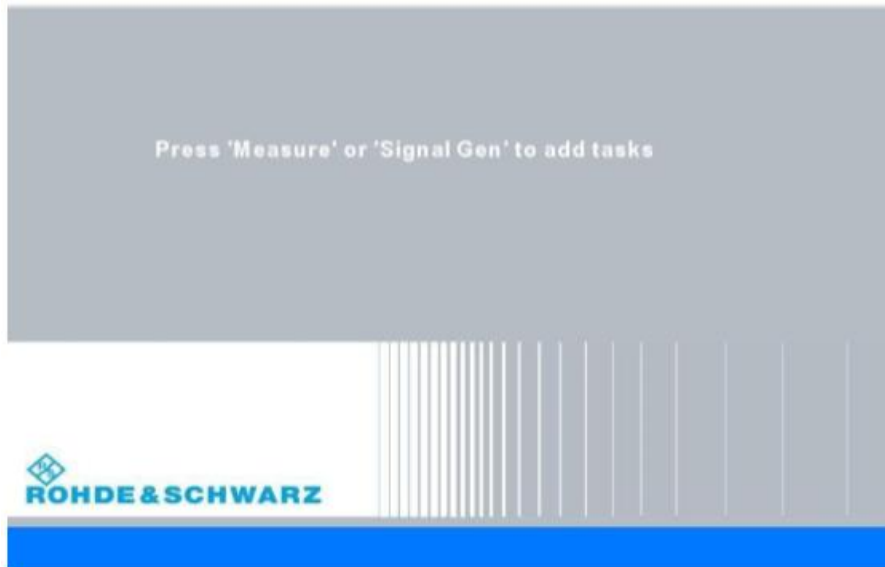


Ilustración 11. Primera pantalla del programa.

R&S CMW500 como analizador

En este paso se muestran las posibles medidas que se pueden realizar (Ilustración 12).

- 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 [4].
- En “GSM” nos permitirá 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 [4]. La desventaja es que esta última opción sólo está disponible bajo licencia con el fabricante, estando limitada en la que disponemos.

- 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 [4].
- 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) [4].
- 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 [4].

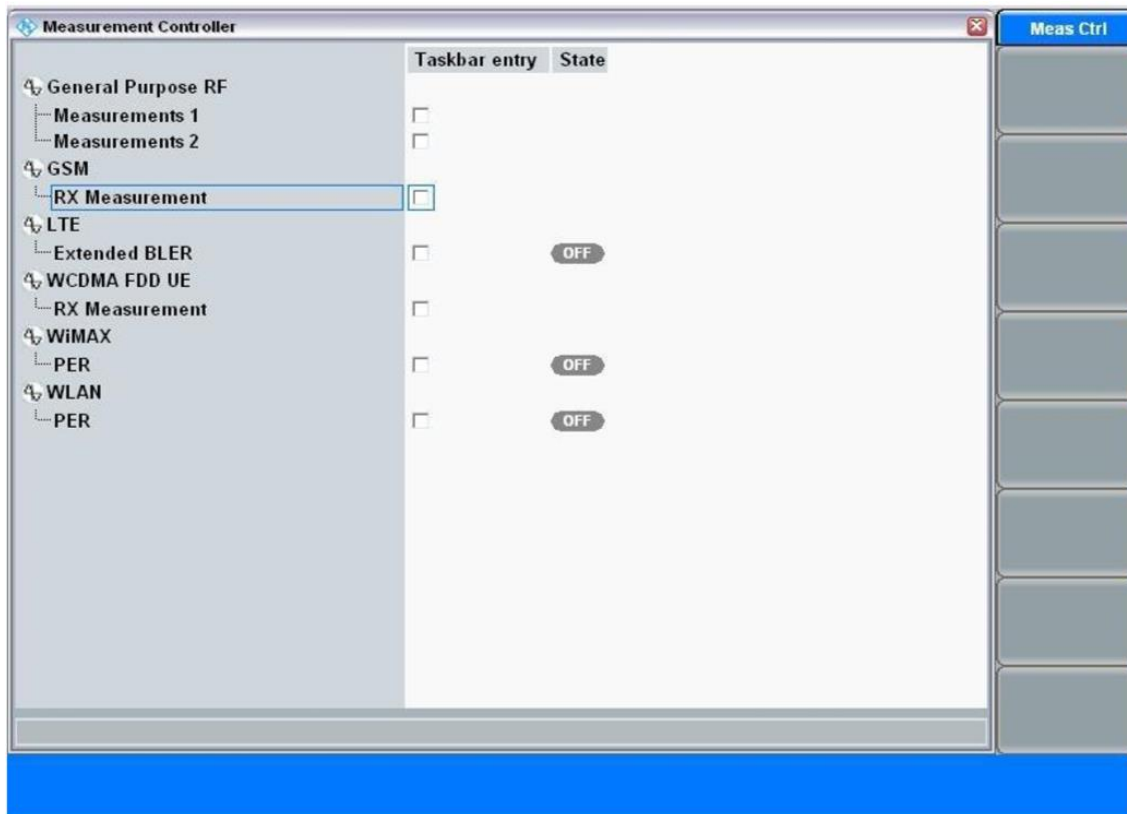


Ilustración 12. R&S CMW500 como analizador.

R&S CMW500 para aplicaciones de radiofrecuencia.

Esta opción permite seleccionar el papel que va a representar el R&S CMW500 en el sistema (Ilustración 13).

- 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 [4].
- 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 [4].
- 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 [4].

- 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 [4].
- 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 [4].

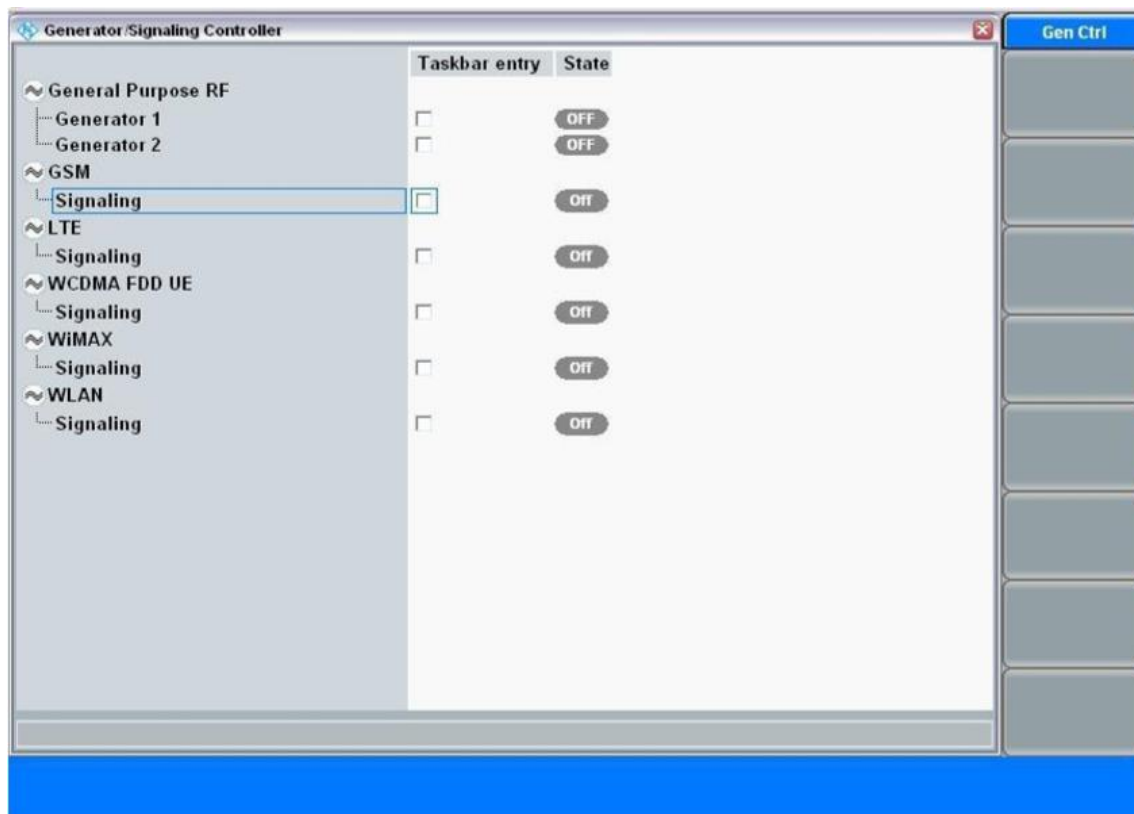


Ilustración 13. R&S CMW500 como generador/estación base.

3.2 Antenas bicónicas

Hemos seleccionado el modelo SBA 9113 como antena transmisora/receptora (Ilustración 14) .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 nos íbamos desplazando con el PC portátil por el patio de la Universidad, y necesitábamos tomar medidas en cada posición. Por tanto una antena unidireccional o directiva no nos valdría.

- Patrón de radiación máximo en la dirección donde se desplaza el PC portátil, 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.

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

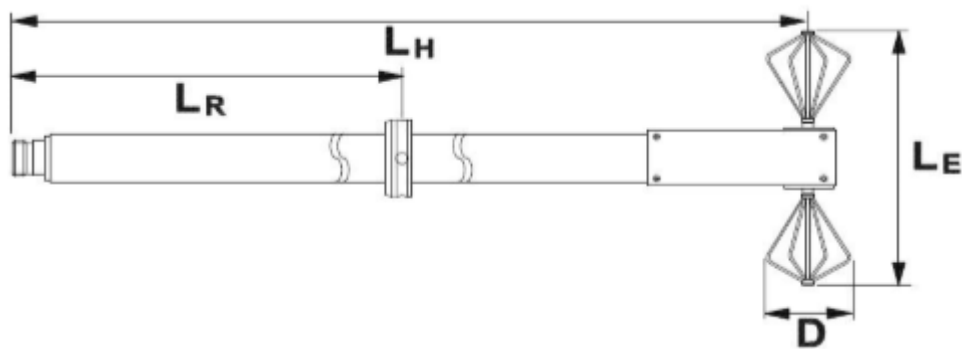


Ilustración 14. Antena SBA 9113.



Ilustración 15. Antena SBA 9113 real. Foto realizada en una de las pruebas en el laboratorio SiCoMo.

3.3 GPS

3.3.1 Introducción

El Sistema de Posicionamiento Global, conocido también como GPS, es un sistema de navegación basado en 24 satélites, que proporcionan posiciones en tres dimensiones, velocidad y tiempo, las 24 horas del día, en cualquier parte del mundo y en todas las condiciones climáticas. Al no haber comunicación directa entre el usuario y los satélites, el GPS puede dar servicio a un número ilimitado de usuarios [16].

Dirigido por el Departamento de Defensa de Estados Unidos, el Sistema de Posicionamiento Global Navstar se creó en 1973 para reducir los crecientes problemas en la navegación. Al ser un sistema que supera las limitaciones de la mayoría de los sistemas de navegación existentes, el GPS consiguió gran aceptación entre la mayoría de los usuarios. Desde los primeros satélites, se ha probado con éxito en las aplicaciones de navegación habituales. Como puede accederse a sus funciones de forma asequible con equipos pequeños y baratos, el GPS ha fomentado muchas aplicaciones nuevas [16].

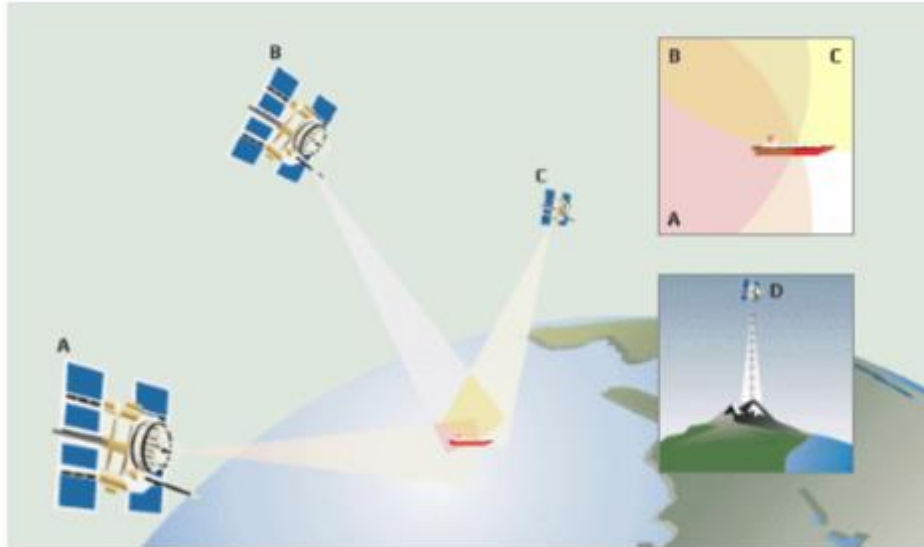


Ilustración 16. Se necesitan 3 satélites para calcular la posición (latitud y longitud) y un cuarto para calcular la altura [16].

Los satélites GPS llevan relojes atómicos de alto grado de precisión. La información horaria se sitúa en los códigos de transmisión mediante los satélites, de forma que un receptor puede determinar en cada momento en cuánto tiempo se transmite la señal. Esta señal contiene datos que el receptor utiliza para calcular la ubicación de los satélites y realizar los ajustes necesarios para precisar las posiciones. El receptor utiliza la diferencia de tiempo entre el momento de la recepción de la señal y el tiempo de transmisión para calcular la distancia al satélite. El receptor tiene en cuenta los retrasos en la propagación de la señal debidos a la ionosfera y a la troposfera. Con tres distancias a tres satélites y conociendo la ubicación del satélite desde donde se envió la señal, el receptor calcula su posición en tres dimensiones [16].

Sin embargo, para calcular directamente las distancias, el usuario debe tener un reloj atómico sincronizado con el Sistema de Posicionamiento Global. Midiendo desde un satélite adicional se evita que el receptor necesite un reloj atómico. El receptor utiliza cuatro satélites para calcular la latitud, la longitud, la altitud y el tiempo [16].

3.3.2 Modelo Garmin Etrex Vista

El GPS con el que se trabajará es el modelo Etrex Vista de Garmin. Se trata de un GPS ligero, de un diseño compacto, resistente al agua y con una interfaz muy fácil de utilizar. Es compatible con WAAS y EGNOS. Las principales funciones son accesibles por medio de cinco teclas laterales que facilitan el manejo con una sola mano. Además, la tecla central tipo joystick permite desplazarse por los menús de cada pantalla, confirmar las opciones y marcar waypoints de forma muy rápida. Incorpora un altímetro barométrico y una brújula electrónica. En la siguiente figura se muestran los elementos que caracterizan a este GPS [16].

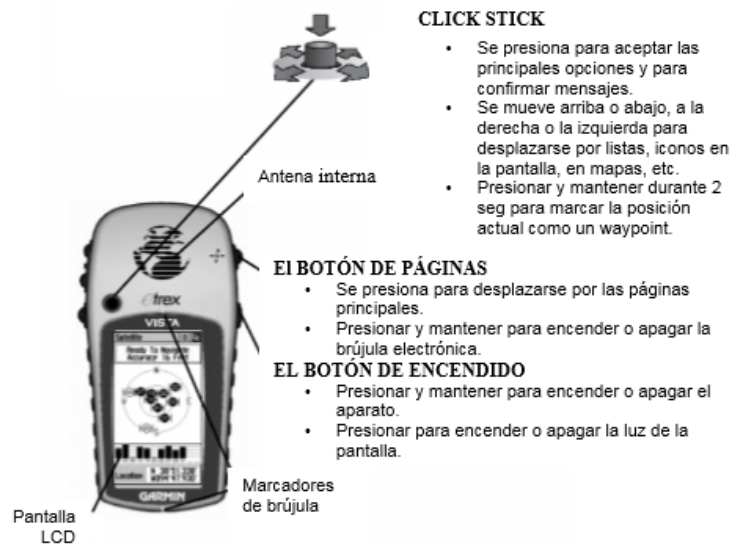


Ilustración 17. Vista frontal del GPS [17].



Ilustración 18. Vista posterior del GPS [17].



Características

- Pantalla LCD de alto contraste y una de las de mayor resolución de la gama Garmin (280x160 píxeles).
- Alta precisión. Calcula la posición con un error de menos de 5 metros.
- Actualización de la posición una vez por segundo en modo de funcionamiento normal.
- Interfaces NMEA 0183 y puerto serie RS-232, lo que permite su conexión con un ordenador o con una PDA.
- Almacenamiento de 500 waypoints de usuario con iconos gráficos.
- Un registro de rutas automático con capacidad para 3000 puntos o para guardar 10 rutas con 250 puntos cada una.
- Capacidad para construir rutas, con un almacenamiento para 20 rutas de 50 waypoints cada una.
- Visualiza una gran variedad de datos de navegación como la velocidad, el tiempo estimado de llegada, el cuentakilómetros,...
- Muestra los ascensos y descensos totales, la media ascensos/descensos, el máximo ascenso o descenso, la elevación máxima, etc.
- Localiza waypoints, ciudades, salidas de autopistas, direcciones de calles e intersecciones.
- Dispone de 24 MB para almacenamiento de mapas de datos.
- Tiene capacidad para usar WAAS (Wide Area Augmentation System). El uso efectivo de esta característica puede ser limitado porque este sistema se encuentra actualmente bajo desarrollo y los satélites geoestacionarios no lo soportan completamente.
- Posee un barómetro digital de alta precisión.
- Dispone de una brújula magnética digital.

Menús

Toda la información que se necesita para operar con el GPS Garmin eTrex Vista se encuentra en los siguientes menús:

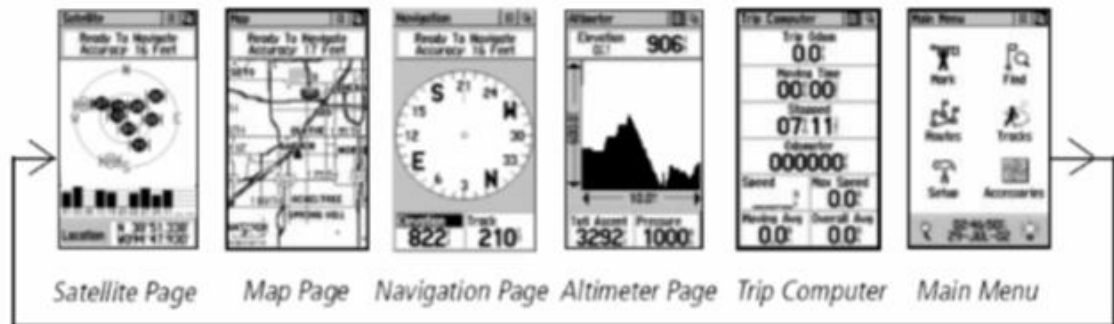


Ilustración 19. Menús del GPS [17].

- **Satellite Page:** proporciona una imagen de los satélites. Indica cuándo el GPS está preparado para la navegación y muestra las coordenadas de localización. El gráfico representa una vista mirando al cielo desde la posición actual del GPS mostrando los satélites con sus números asignados.
- **Map Page:** visualiza la posición actual del aparato y la dirección del movimiento usando el icono de posición en forma de triángulo que está en el centro del mapa.

Conforme nos vamos moviendo el mapa muestra el rastro que dejan nuestros movimientos. El mapa también visualiza detalles geográficos como ríos, lagos y ciudades. La ventana de estado en la parte superior de la ventana proporciona información precisa sobre la posición.

- **Navigation Page:** proporciona orientación con una brújula que muestra el camino mientras te estás moviendo. La flecha indica la dirección actual del destino. La ventana de estado muestra el nombre del destino, la distancia y el tiempo que falta para llegar.
- **Altimeter Page:** permite representar el perfil de altura de los recorridos, así como indicar las altitudes máximas y mínimas alcanzadas, velocidad de ascensión o descenso actual, máxima y mínima.

- Trip Computer Page: muestra ocho tipos de datos diferentes de navegación que son programables por el usuario. Cada campo se puede seleccionar y puede contener una de muchas opciones.
- Main menu: proporciona un directorio con las funciones avanzadas del aparato. Desde la página del menú principal se pueden marcar y crear nuevos waypoints, encontrar elementos en mapas tales como ciudades, salidas de autopistas, direcciones, puntos de interés, etc.; crear rutas, guardar caminos o acceder y usar los accesorios del aparato.



Ilustración 20. Buscando satélites y midiendo coordenadas.

Estos datos, y muchos más que no han sido mostrados en este proyecto, han sido consultados en el manual de referencia del GPS Garmin Etrex Vista [17].

3.4 Módem USB

3.4.1 Módem USB Novatel Ovation MC950D

Según la ficha técnica del módem [18] algunas de sus características son:

- Bandas/Tecnología: Tri banda HSUPA/HSDPA - 850/1900/2100 MHz y Banda cuádruple EDGE/GPRS - 850/900/1800/1900 MHz
- Velocidad de datos : 7.2Mbps HSDPA para velocidad de descarga y 2.1Mbps HSUPA para velocidad de subida



Ilustración 21. Módem MC950D [19].

3.4.2 Tarjeta SIM Mini-UICC R&S CMW-Z04

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



Ilustración 22. Tarjeta SIM CMW-Z04 [20].

4. Diseño del sistema de comunicaciones

En este capítulo nos centramos en la parte de radiofrecuencia, en concreto en la comunicación R&S CMW500 – módem USB, y llevamos a cabo un diseño el cual destacaba por una transmisión/recepción de paquetes a través de dos antenas conectadas a las clavijas RF de entrada y salida del R&S CMW500 (RF1 COM y RF1 OUT respectivamente, configurados desde el panel “Routing” que se ve en el capítulo 5). El uso de dos antenas (una para transmitir, y otra para recibir) , en vez de una sola, evita solapamientos y pérdidas de información , ya que se usan diferentes canales de comunicación.

Como hemos dicho anteriormente, nos centramos en el enlace descendente, y diremos que el equipo R&S CMW500 (estación base), es el transmisor y el módem USB (estación móvil), es el receptor, ya que el fin de nuestro proyecto, es el de extraer aquellos datos que recibe el módem USB. Sin embargo, el enlace ascendente también es importante, ya que el módem USB tiene que ir confirmando al R&S CMW500, la llegada de paquetes , para que la comunicación sea fluida y estable.

El sistema una vez montado, quedó como muestra las imágenes (Ilustración 24 e ilustración 25). Con el PC portátil, (y el GPS conectado a él), nos íbamos desplazando por el patio de la universidad e íbamos tomando medidas desde diferentes posiciones como veremos en el capítulo 7. Para que esto ocurriera, fue imprescindible que las antenas fueran de tipo omnidireccional. Es decir, que radiaran energía prácticamente en todas direcciones. Una antena direccional (también llamada unidireccional o directiva) no nos serviría (en la Ilustración 23 podemos comparar los diagramas de radiación de ambas antenas).

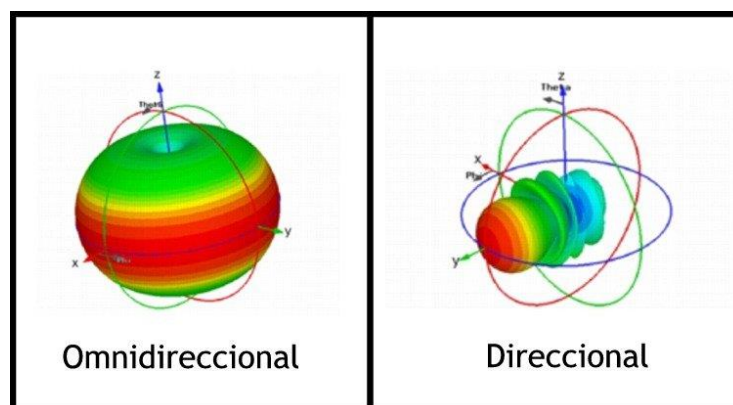


Ilustración 23. Diagramas de radiación omnidireccional y direccional [21].



Ilustración 24. Momento de las pruebas en el patio de la Facultad de Telecomunicaciones de la UPCT.



Ilustración 25. Momento de las pruebas en el patio de la Facultad de Telecomunicaciones de la UPCT.

4.3 Búsqueda de bandas libres

Uno de los estudios más importantes fue la búsqueda de frecuencias portadoras libres para evitar interferencias con otros sistemas. De esta manera nos aseguramos a la hora de tomar medidas y obtener los datos que recibía el módem USB, que la señal que analizamos era únicamente la transmitida por el equipo R&S CMW500. Para ello, utilizamos el analizador de espectros FSH3 de Rhode & Schwarz (Ilustración 26), y observamos los picos de las señales que actuaban en aquellas bandas de frecuencias con las que queríamos trabajar (GSM 900) según el entorno en el que nos encontrábamos.

Como hemos dicho en el anterior capítulo, el equipo R&S CMW500 tiene la opción de analizador de espectros, pero utilizamos este otro, por ser más cómodo y ligero para movernos por el patio de la universidad, donde realizamos las pruebas. No lo hemos añadido en la descripción de equipos del capítulo 3, porque realmente no es un equipo que permanezca fijo en nuestro sistema de comunicaciones.



Ilustración 26. Analizador de espectros en búsqueda de frecuencias portadoras libres.

Observando la señal de la imagen Dataset.000 (Ilustración 27), para una frecuencia central de 943,3 MHz, podemos decir que el rango de 944 a 951 MHz, está libre. Es decir, no existen señales que trabajen a esas frecuencias, y por tanto no habrá interferencias con otros sistemas, a la hora de escoger una portadora para nuestro sistema.

Desplazándonos hacia la izquierda, pudimos ver, que de 900 a 923 MHz tampoco había interferencia.

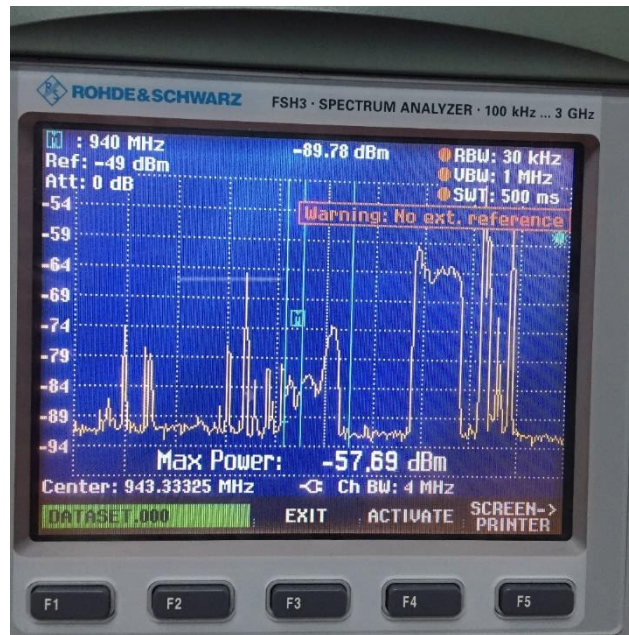


Ilustración 27. Rango portadoras libres (944-951) MHz.

Observando la señal de la imagen Dataset.001 (Ilustración 28), para una frecuencia central de 950 MHz, podemos decir que a partir de 960 MHz, la frecuencia portadora será libre.

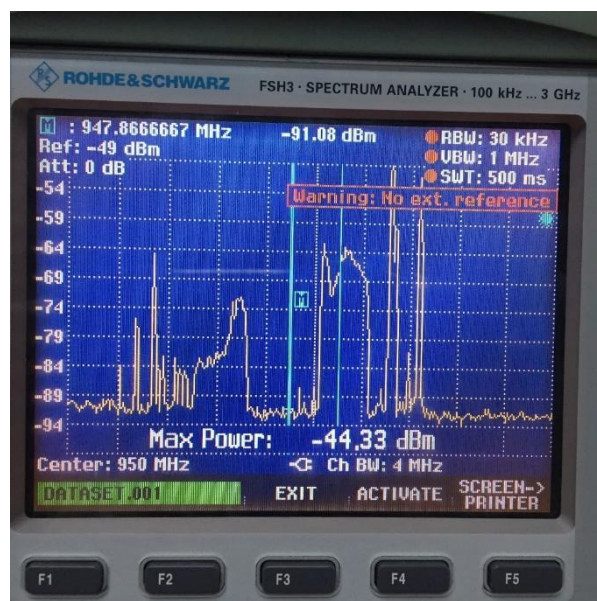


Ilustración 28. Portadoras libres a partir de 960 MHz.

Una vez hecho esto, podemos pasar a configurar la red GSM-900 de nuestro sistema , ya que ahora sí conocemos aquellas frecuencias portadoras libres con las que podemos trabajar, según el entorno en el que nos encontramos, es decir:

- (900 - 923) MHz
- (944 - 951) MHz
- A partir de 960 MHz

GSM-900 usa el rango (890–915) MHz para enviar información desde la estación móvil a la estación base (uplink o enlace ascendente) y (935–960) MHz para la otra dirección (downlink o enlace descendente), y dispone de 124 canales.

FRECUENCIAS (MHZ): GSM-900	FREC. RESERVADAS	FRECUENCIAS QUE PODEMOS UTILIZAR	
890	ENLACE ASCENDENTE (UPLINK)		
...			
900		FRECUENCIAS PORTADORAS LIBRES	900 MHZ
...			...
910			...
915		915 MHZ	
920			
923			
...			
930	ENLACE DESCENDENTE (DOWNLINK)		
935			
940			
944		FRECUENCIAS PORTADORAS LIBRES	944 MHZ
950			...
951		951 MHZ	
...			
960	FREC.PORT. LIBRE	960 MHZ	

Tabla 1. Selección de frecuencias portadoras para nuestro sistema de comunicaciones



5. Configuraciones GSM Y UMTS mediante el equipo

R&S CMW500

En este capítulo nos centraremos en entender la configuración básica del R&S CMW500 a la hora de generar una célula móvil GSM o UMTS. Es decir, configuraremos dicho equipo para que actúe como la estación base de nuestra red privada GSM o UMTS. Observaremos también como el dispositivo USB se identifica con la red y se enlaza a ella (Attached).

Para que esto último ocurra en el menor tiempo posible, haremos un buen ajuste del parámetro característico de la “atenuación externa” del equipo R&S CMW500, el cual representa la atenuación de la señal como resultado de propagarse por el medio de comunicación. Así pues, cuanto mayores sean las pérdidas provocadas por el entorno (pérdidas por propagación, ruido, interferencias, cables, etc.), mayor debe de ser el valor de la atenuación externa.

El R&S CMW500 consta de dos parámetros diferentes para distinguir la atenuación de la señal en función del sentido en el que ésta se transmita, ya 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 dB, y deberemos ir ajustando dicho valor.

Otro parámetro importante para que el dispositivo USB detecte la red, es la potencia de transmisión del R&S CMW500 (DL reference level) u Output Power. A mayor potencia, mayor facilidad de detección.

También debemos configurar los puertos de entrada y salida del R&S CMW500, a los cuales irán conectadas las antenas bicónicas . Una será para transmitir (RF1 OUT) y la otra para recibir (RF1 COM). Esto lo haremos desde el panel “Routing”.

5.1 Configuración de GSM

Para la primera prueba que hicimos con GSM900, pusimos la antena emisora, (conectada al R&S CMW500), a 1,5 metros de distancia del módem USB, y configuramos los parámetros de la atenuación externa, así como la potencia de transmisión:

- At. externa salida: 40 dB. Afecta a la potencia de transmisión del R&S CMW500 (DL reference level), ya que afecta al enlace descendente.
- At.externa entrada: 50 dB. No afecta a dicha potencia.
- Potencia de transmisión del R&S CMW500 (DL reference level) máxima, para asegurarnos una mejor conexión.: -27 dBm.

Para el desarrollo de nuestro proyecto utilizamos el estándar GSM 900, por tanto, esta configuración (ver los pasos de la configuración en [Anexo A.1](#)). Se intentó utilizar también GSM 1800, y UMTS, pero estos daban mayor problema, ya que el módem USB tardaba mucho en conectarse a la red, y a veces incluso era imposible detectarla.

Tras haber configurado correctamente el R&S CMW500 para crear una célula móvil que dé cobertura a nuestro dispositivo USB, pasamos a activar dicho dispositivo mediante un gestor de redes desde nuestro PC portátil, como puede ser Escritorio Movistar, donde configuraremos el APN correspondiente del R&S CMW500 para que reconozca la red 2G que acabamos de crear:

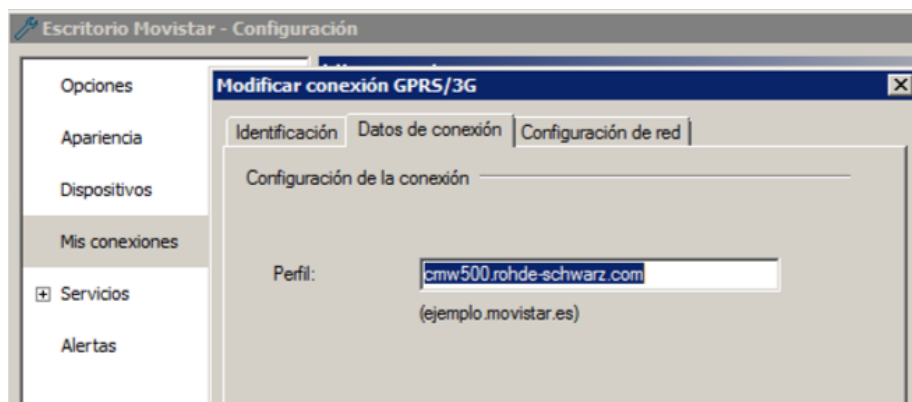


Ilustración 29. Configuración del APN para conectar al CMW500.

Una vez configurado el APN, el módem USB reconocerá la red 2G, se identificará, y se registrará en ambos extremos (Pantalla R&S CMW500 y Escritorio Movistar). Veamos Ilustración 30, Ilustración 31 e Ilustración 32.



Ilustración 30. Módem USB registrado y enlazado a la red. Ventana de aviso de Escritorio Movistar.



Ilustración 31. Red del R&S CMW500 reconocida por el módem USB Novatel. Mostrado por Escritorio Movistar.

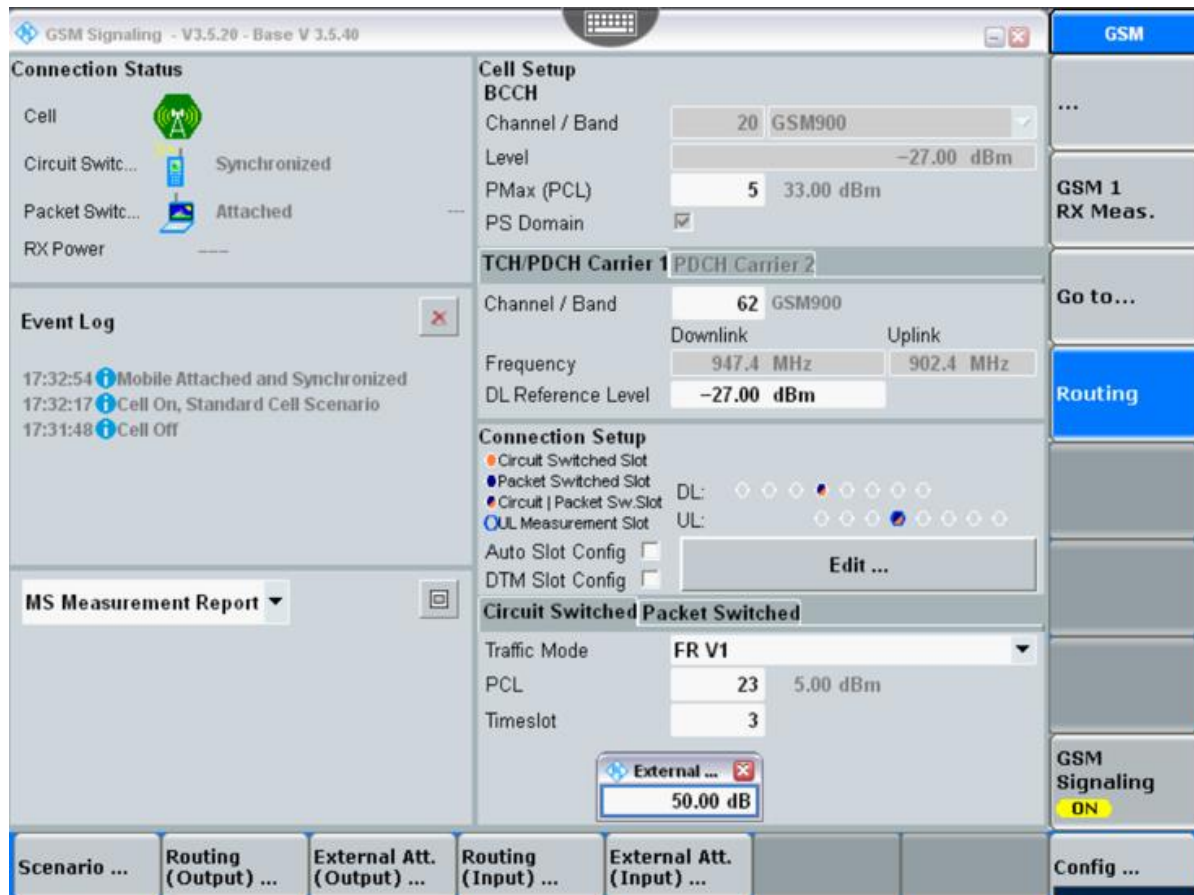


Ilustración 32. Módem USB registrado y enlazado a la red. Pantalla del equipo R&S CMW500.

Una vez registrado en la red, pasamos a conectarnos a ella, pulsando en el botón “Conectar” en la aplicación de Escritorio Movistar (Ilustración 33).



Ilustración 33. Módem USB conectado con éxito por conmutación de paquetes al R&S CMW500.

Como podemos ver, se establece una comunicación por conmutación de paquetes (Ilustración 34).



Ilustración 34. Conexión por conmutación de paquetes establecida en GSM 900.

Una vez establecida la comunicación entre el R&S CMW500 y el dispositivo USB, podemos observar el consumo de datos y la velocidad con la que ésta fluye, desde Escritorio Movistar (ver Ilustración 35 e Ilustración 36).

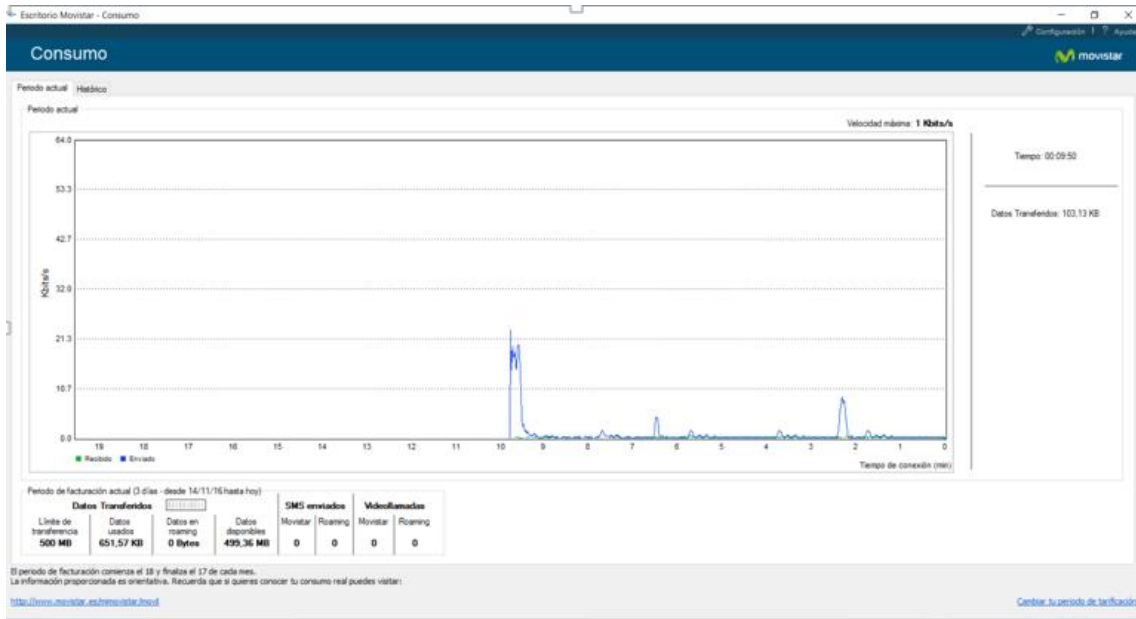


Ilustración 35. Kbits/s frente a tiempo de conexión.

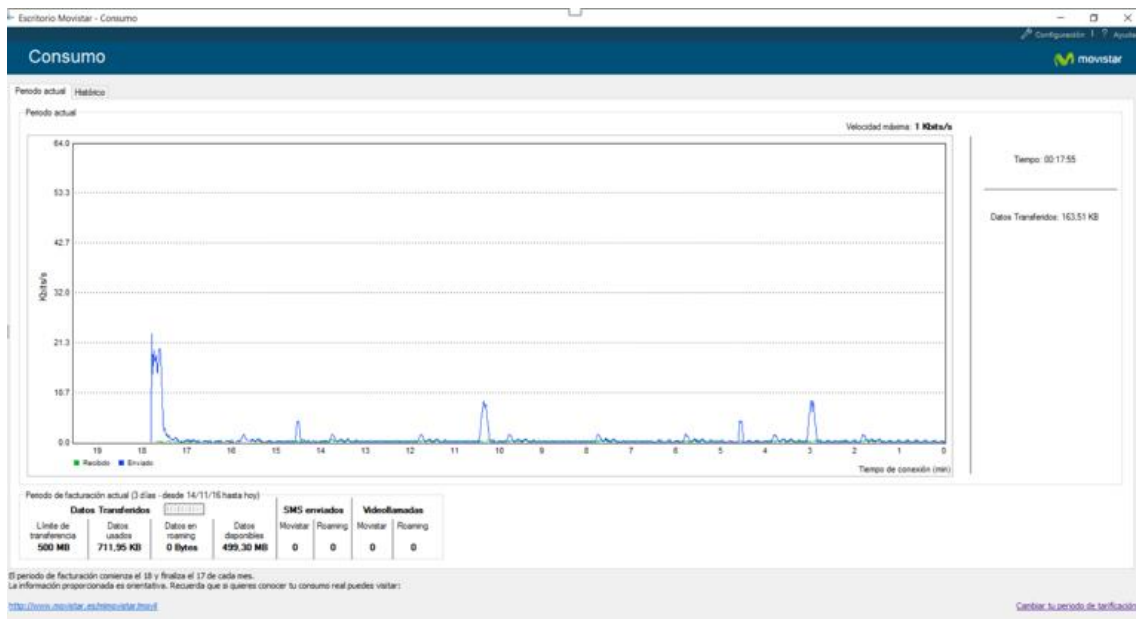


Ilustración 36. Kbits/s frente a tiempo de conexión.

También podemos observar, directamente en la pantalla del R&S CMW500, el rendimiento RLC (Radio Link Control) observando la imagen (Ilustración 37). Podemos ver y analizar los paquetes enviados y su velocidad tanto en el enlace descendente como en el ascendente.

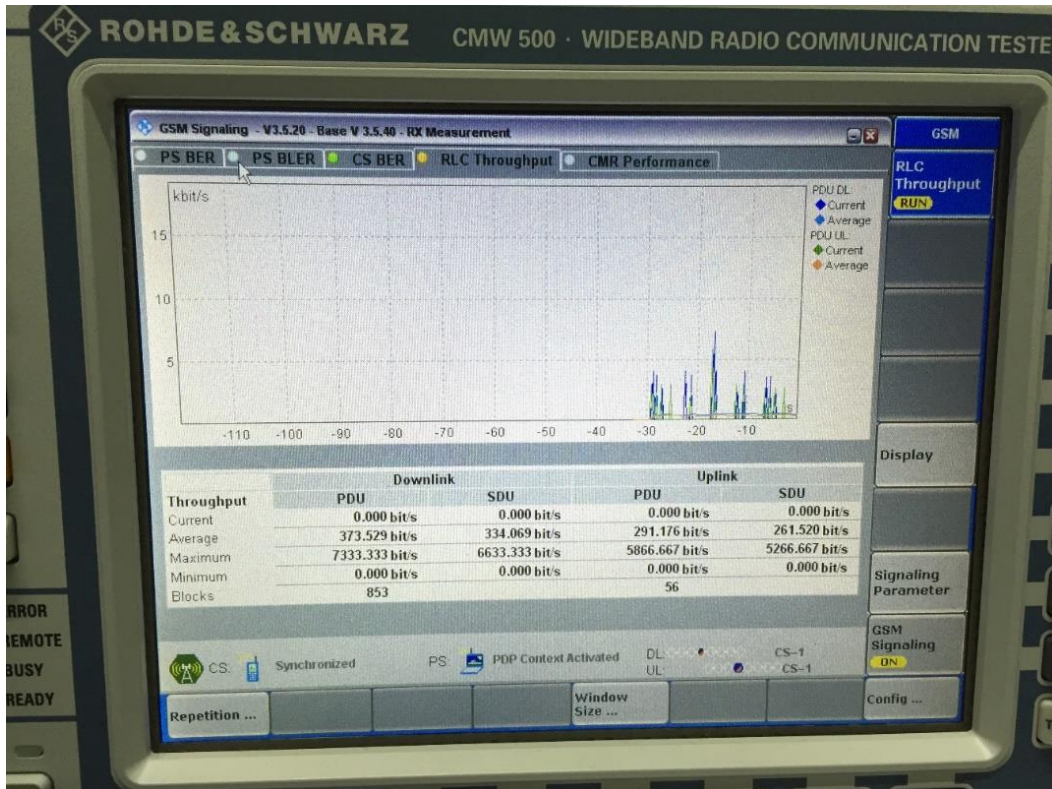


Ilustración 37. RLC Throughput o Rendimiento RLC.

5.1.2 Primeras pruebas utilizando GSM

Para finalizar este apartado, añado algunas pruebas curiosas e interesantes que realicé, aunque no tienen relación directa con el propósito de este proyecto. Lo que hicimos fue conectarnos con el módem o dispositivo USB a la red generada por el R&S CMW500, y probar a enviar mensajes de texto (SMS). También realizamos pruebas con un móvil iPhone, conectándonos a esa misma red.

SMS recibido por el módem USB (enviado por R&S CMW500):

Tras enviar un SMS desde el R&S CMW500, podíamos leerlo en el Escritorio Movistar del ordenador portátil.



Ilustración 38. SMS recibido en Escritorio Movistar.

SMS recibido por R&S CMW500 (enviado por módem USB):

Tras enviar un SMS desde Escritorio Movistar, podíamos leerlo en la pantalla del R&S CMW500, así como saber que en ese mismo instante estábamos recibiendo un SMS.

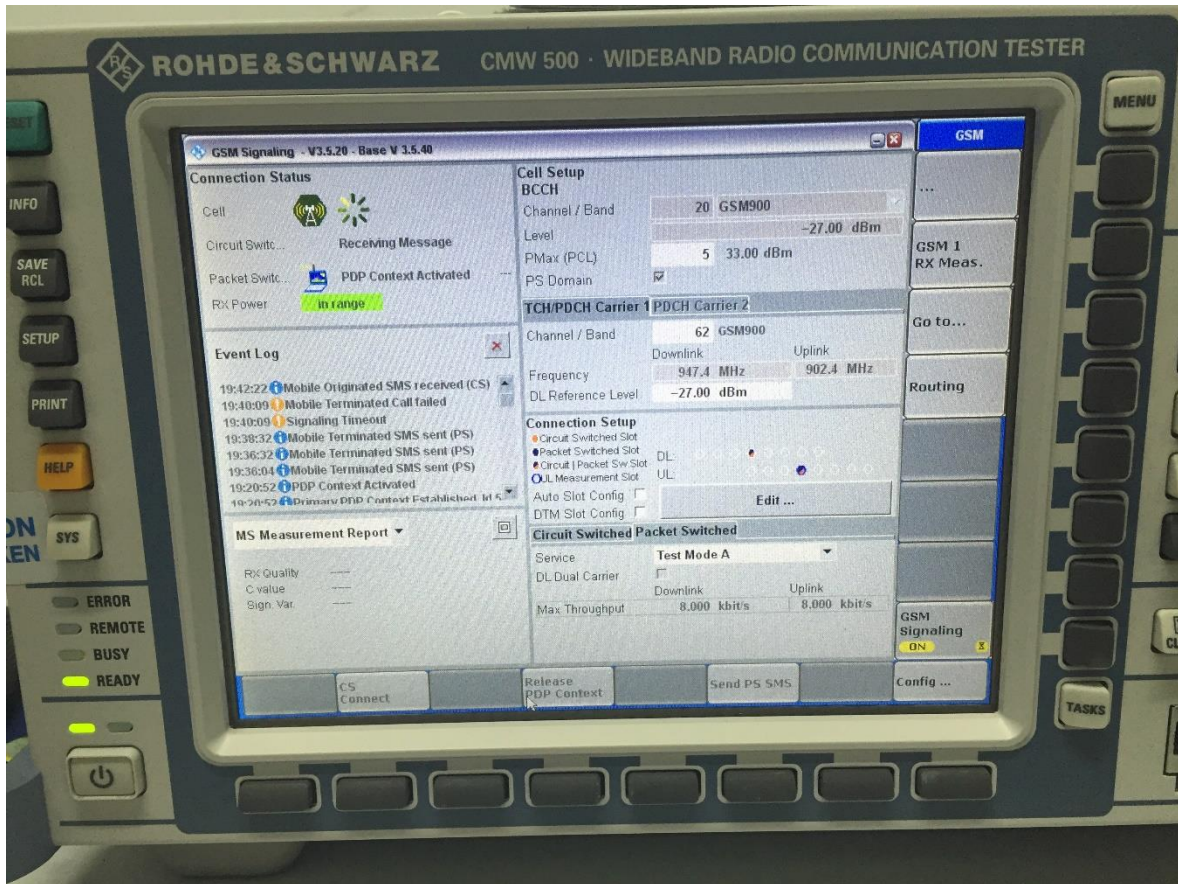


Ilustración 39. Instante en el que R&S CMW500 estaba recibiendo un SMS enviado por el módem USB.

Llamada desde un móvil iPhone conectado a la red generada por R&S CMW500 (Nombre de la red: Test PLMN 1- 1)

Al activar el altavoz del móvil y tras ello hablar, escuchábamos nuestra propia voz con diferentes retardos que podíamos ir variando desde el R&S CMW500. A priori, realizábamos una llamada a cualquier número de teléfono, pero seleccionando la red a la que nos conectábamos (Test PLMN 1-1). En la pantalla del R&S CMW500 podíamos observar, cómo la llamada era establecida (Ilustración 40).

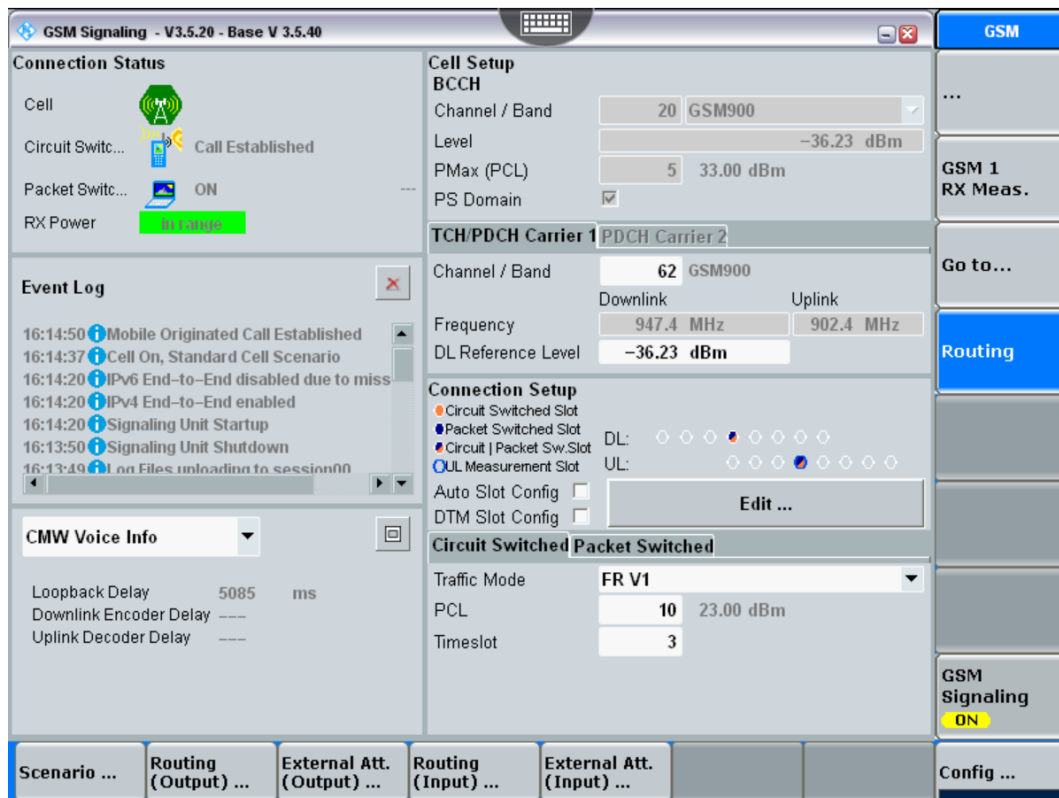


Ilustración 40. Llamada establecida. Pantalla del R&S CMW500.

SMS recibido por R&S CMW500 (enviado por iPhone):

Da igual el número de teléfono destino que asignemos a la hora de realizar la llamada desde el móvil iPhone. La Estación base (R&S CMW500) recibe el SMS, ya que el móvil está conectado a la red generada por ésta (Test PLMN 1-1), (Ver Ilustración 41).

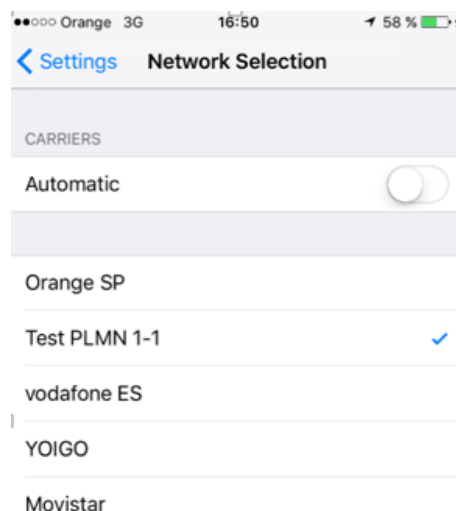


Ilustración 41. Selección de la red desde el móvil iPhone.



Ilustración 42. Enviando SMS desde iPhone a R&S CMW500.

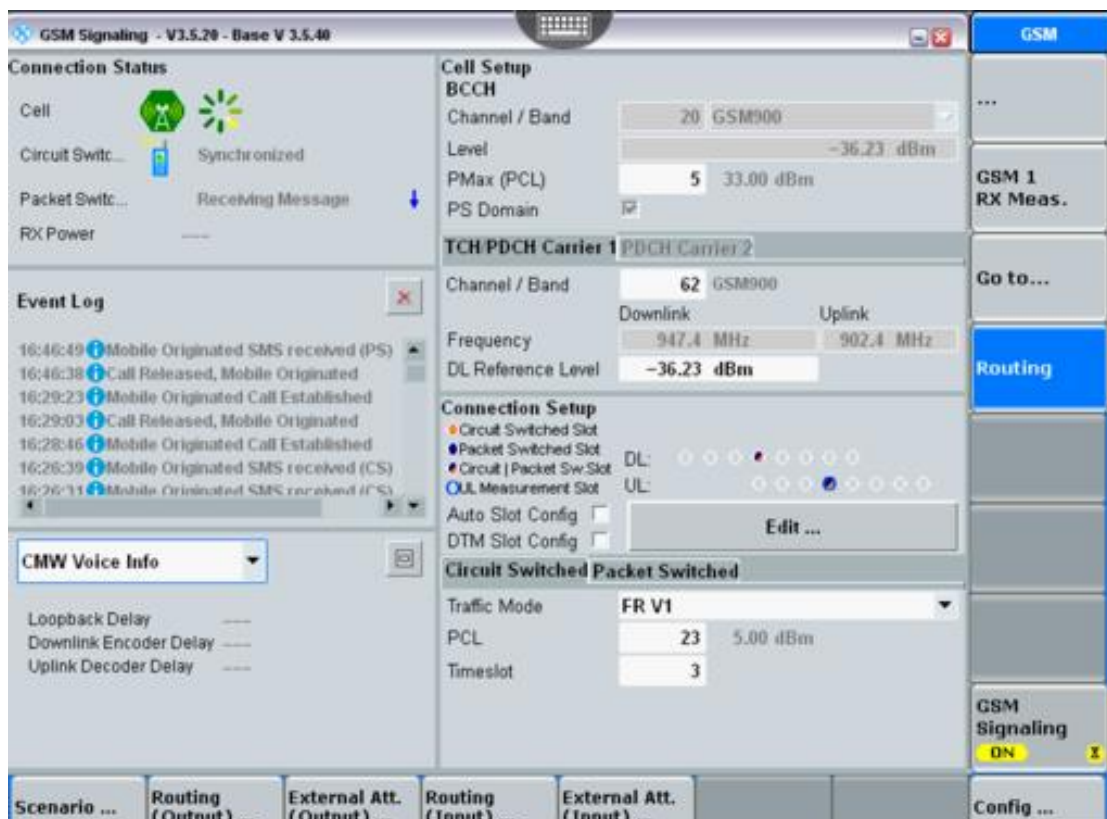


Ilustración 43. Instante en el que R&S CMW500 estaba recibiendo un SMS enviado por el móvil iPhone.

La siguiente imagen muestra la pantalla del R&S CMW500 (Ilustración 44). Vemos el mismo mensaje que habíamos escrito y enviado desde el móvil iPhone.

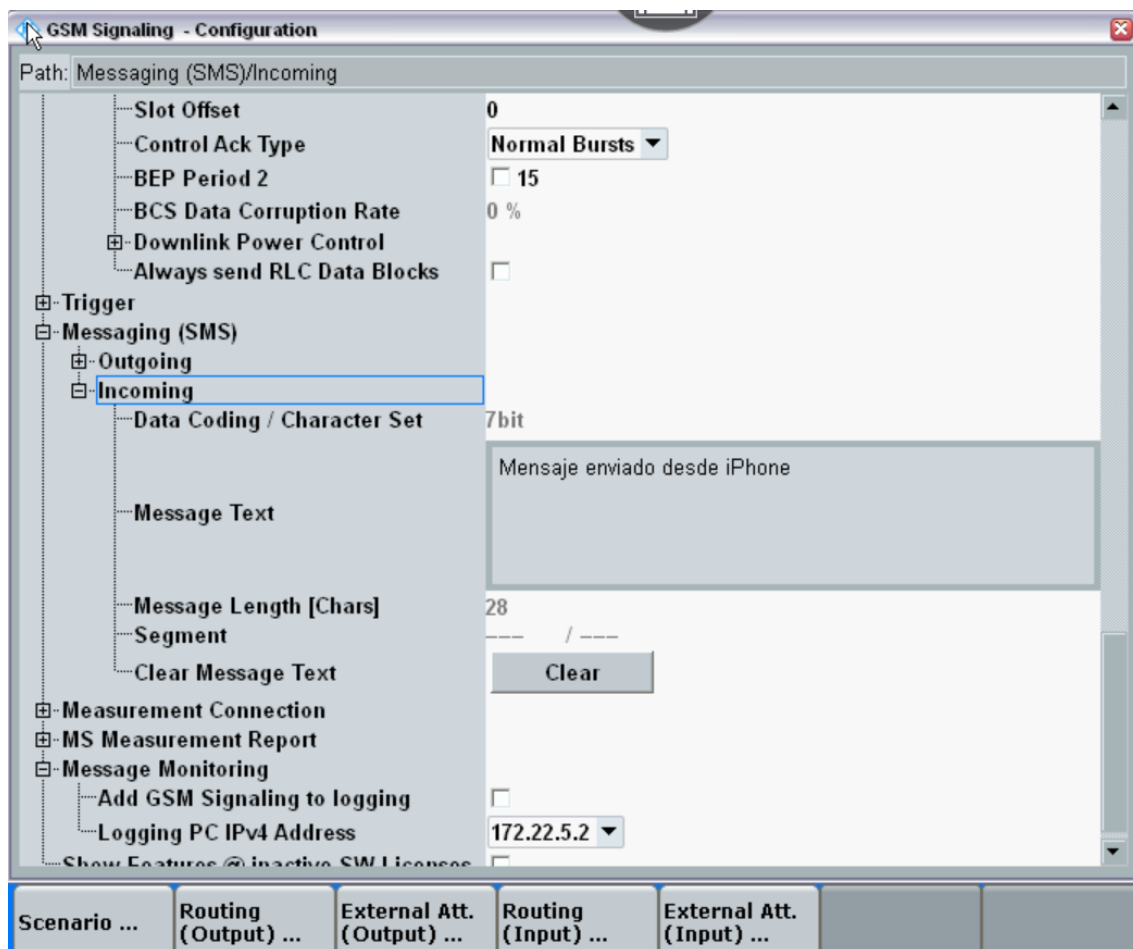


Ilustración 44. SMS recibido por R&S CMW500.

Mensaje enviado desde R&S CMW500 (recibido en el móvil iPhone):

Puesto que el móvil iPhone no tenía la tarjeta SIM CMW-Z04 (estaba usándola el módem USB), éste no recibía el SMS enviado por R&S CMW500. Como se explicó anteriormente, la tarjeta SIM es necesaria para que el R&S CMW500 pueda detectar al dispositivo que se quiera conectar a la red.

Prueba fallida al conectar varios dispositivos a la red “Test PLMN 1-1”

Se intentó conectar a la red generada por R&S CMW500, el móvil iPhone y el módem USB, y hacer que se comunicaran entre ellos mediante envío de SMS, pero fue imposible, ya que R&S CMW500 permite conectar un único terminal a la red.

5.2 Configuración de UMTS

En este caso, la configuración se realizará de la misma manera, equiparada a UMTS (red 3G). Para ver los pasos de la configuración, ir al Anexo.

La diferencia con respecto a GSM, es que ahora la atenuación externa de salida y entrada, dependen de otros parámetros, que antes no teníamos.

Para obtener los valores que necesitamos, y que el módem USB pueda enlazarse a la red (Attached), de forma más efectiva, lo más recomendable es comenzar por la atenuación externa de salida, y una vez calculada ver lo más adecuado para la de entrada.

El R&S CMW500 nos muestra datos muy valiosos como puede ser el CPICH-RSCP, que es la potencia que realmente llega al módem USB. Este parámetro tiene en cuenta la atenuación externa.

- At. externa de salida = {Output Power} + {P-CPICH} - {CPICH RSCP} = {-46.75 dBm} + {-3.3 dB} - {-93.5 dBm} = {43.45 dB}
- At. externa de entrada = {Potencia máx. transmitida} - {Target power} = {25 dBm} - {-20 dBm} = {45 dB}

En cuanto a la atenuación externa de entrada, el fabricante R&S nos asegura que estos cálculos son estimados, y que podríamos escoger la anterior atenuación para el enlace ascendente también. Aunque esto no sea correcto, porque el enlace ascendente es independiente del descendente y tiene por norma general una atenuación diferente, en este caso partiremos de 40 dB para hacer una estimación adecuada, pues sabemos que las condiciones son similares (muchas reflexiones y gran atenuación).

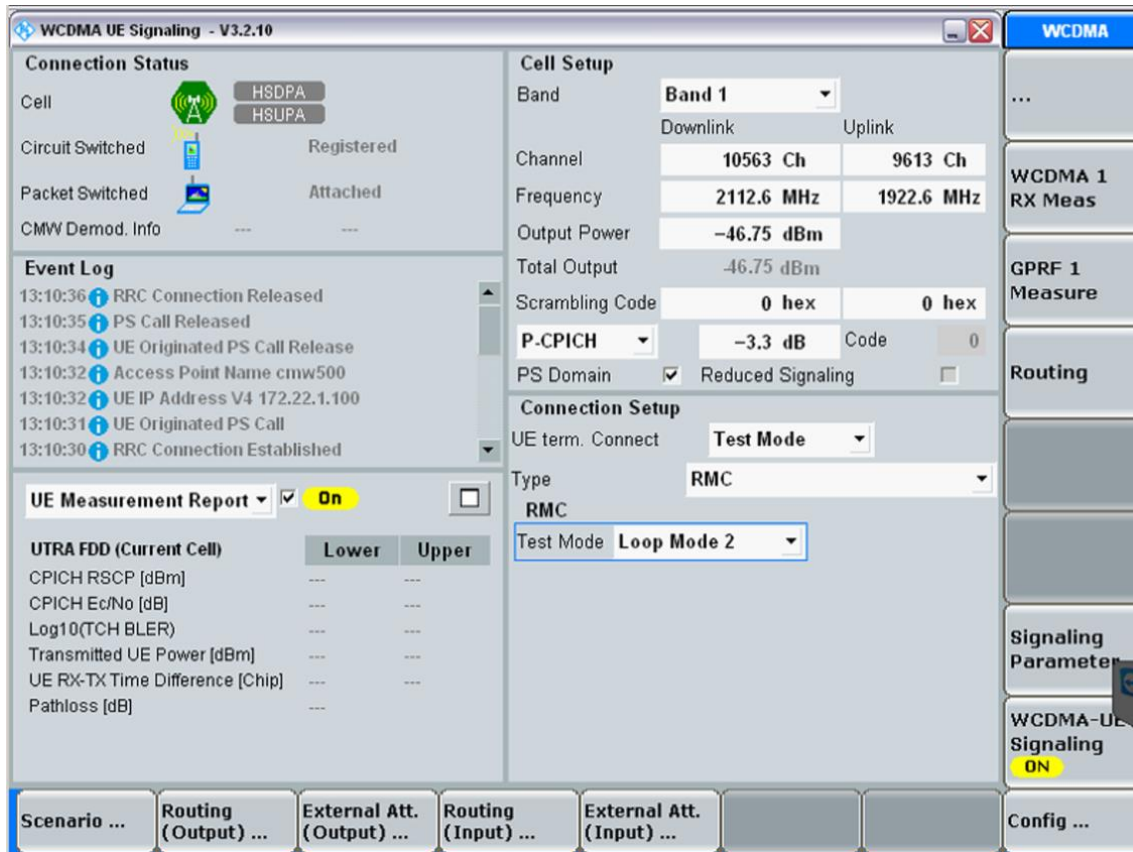


Ilustración 45. Módem USB registrado y enlazado a la red por el CMW500.

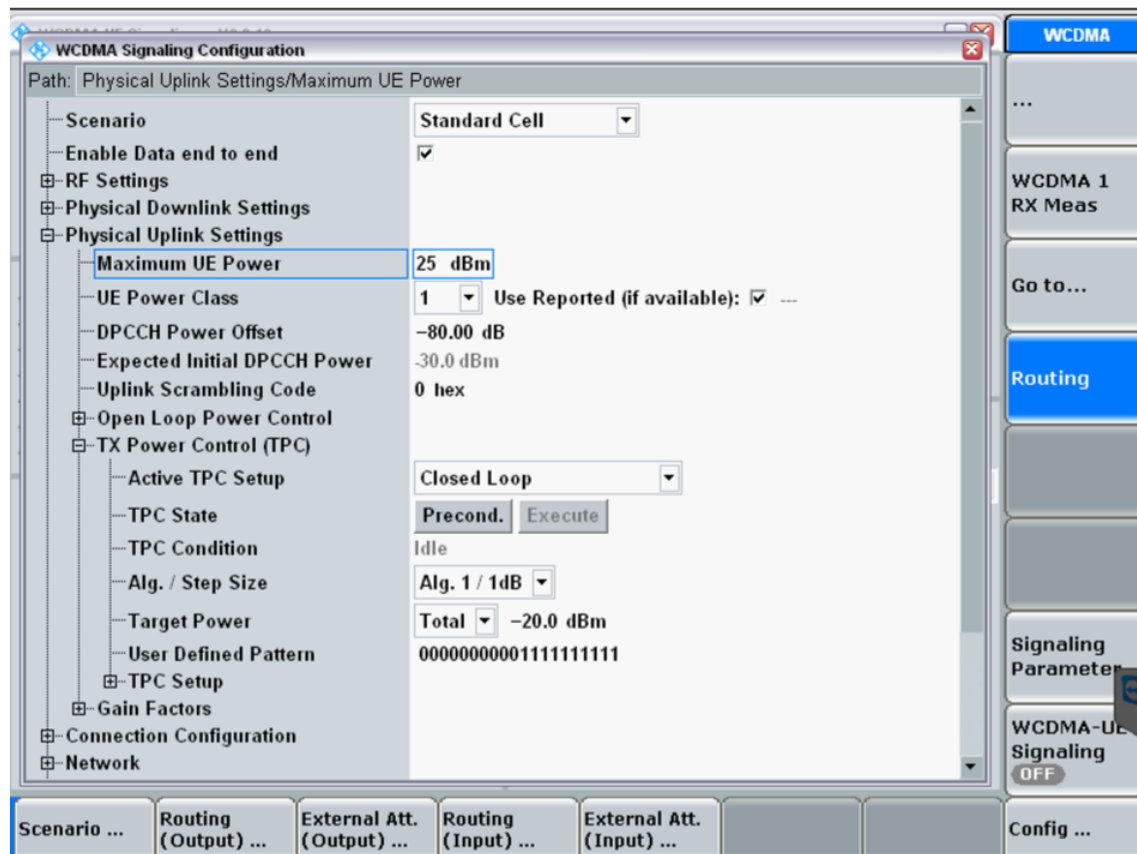


Ilustración 46. Target Power configurado en el control de potencia de transmisión del UE.

6. Desarrollo del software de control

6.1 Introducción

En este capítulo se explicará el funcionamiento de un software, creado e implementado con el lenguaje de programación Matlab, el cual nos permitirá adquirir diferentes tipos de datos.

Por un lado obtendremos datos que serán enviados por el equipo R&S CMW500 y recibidos por el módem USB. Dichos datos serán:

- Potencia recibida (dBm): RSSI en dBm
- Calidad de la señal recibida (%) : $2 * (\text{RSSI en dBm} + 100)$
- Red a la que el módem USB se encuentra conectado.

Por otro lado obtendremos los siguientes datos:

- Coordenadas: Para saber la posición en la que nos encontramos en cada momento, facilitadas por el GPS.
- fecha y hora: obtenidas directamente desde el PC con una función de Matlab.

6.2 Protocolos de comunicación

En este apartado nos centraremos en el estudio de los protocolos de comunicación entre los dos dispositivos (Módem USB y GPS) y el ordenador.

6.2.1 Comunicación PC- Módem USB

Para poder obtener datos directamente desde el módem USB, es necesario entender de qué manera éste se comunica con el ordenador. Al conectar el módem USB al PC, aparecen unos dispositivos (Puertos COM) en el administrador de dispositivos del PC (Ilustración 47). A través de estos puertos, puedo comunicarme con el circuito integrado del módem.

Un puerto COM, también conocido como puerto serial, puerto de comunicaciones o puerto RS-232 ("Recommended Standard-232"), permite el envío de datos, uno detrás de otro, mientras que un paralelo se dedica a enviar los datos de manera simultánea. La sigla COM se debe al término ("COMmunications"), que traducido significa comunicaciones.

Como podemos observar, se trata de un módem USB clásico que virtualiza un puerto serial (COM), y tiene 2 puertos de apoyo para diferentes propósitos. Podemos idear un plan para monitorizar datos a través de estos puertos de apoyo, mientras el módem está operando.

Para el uso de la aplicación informática, llamaremos al puerto COM 10, ya que es el que se comunica directamente con la tarjeta SIM CMW –Z04 , que contiene el módem USB, del cual extraeremos datos enviados por el R&S CMW500. Recordemos, que dicha tarjeta SIM es necesaria para poder acceder a la red GSM que hemos creado.

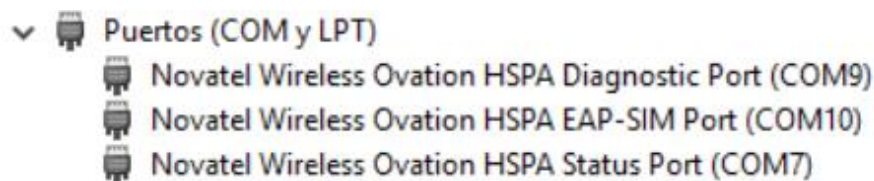


Ilustración 47. Puertos COM vistos desde el administrador de dispositivos del PC.

A continuación, se explicará qué son los comandos AT. En el Anexo, se ven todos los tipos de comandos AT soportados por el módem USB en cuestión. Después, realizaremos una selección de aquellos comandos útiles para obtener los datos que nos interesan.



6.2.1.1 Comandos AT y PuTTY

Los comandos AT (denominados así por la abreviatura de *attention*), son instrucciones codificadas que conforman un lenguaje de comunicación entre el hombre y un terminal módem.

Cada terminal módem, tendrá unos comandos AT específicos y pueden consultarse en la ficha técnica que proporciona su fabricante.

Algunos de estos comandos AT pueden variar según la marca y el modelo del terminal, aunque la gran mayoría son similares, ya que forman parte del estándar de comunicación GSM.

Para realizar las primeras pruebas con estos comandos AT, se empleó PuTTY, un programa para realizar conexiones con servidores remotos por línea de comandos. Es un programa sencillo, pero potente y posiblemente la opción más recomendable para conectarse por Telnet o SSH a otros ordenadores en red.

Para ver cuáles son los comandos AT soportados por el módem Novatel Ovation MC950D, escribimos en la consola de PuTTY “AT + CLAC” (ver [Anexo A.2](#)).

Primeras pruebas con PuTTY:

En este apartado, observamos unas primeras pruebas que realizamos mediante el programa PuTTY, y algunos comandos AT, que tan solo facilitan datos relacionados con el fabricante del módem.

Al abrir el programa PuTTY, aparece la siguiente ventana (Ilustración 48), en la cual podemos elegir el puerto al que queremos conectarnos, etc.

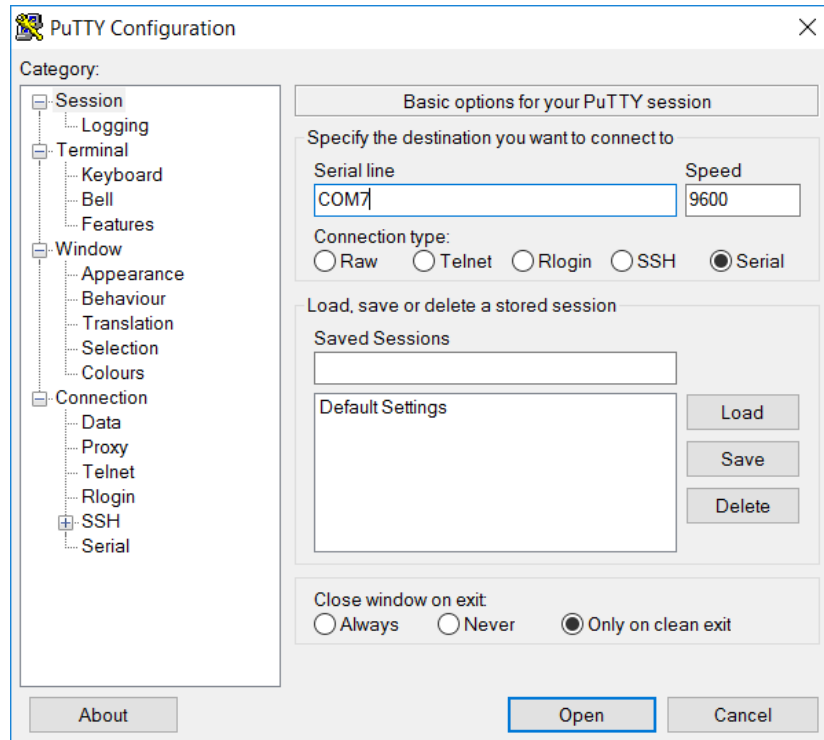


Ilustración 48. Configuración de PuTTY.

Al hacer click en el botón “open” aparece otra ventana (Ilustración 49), en la cual, podemos escribir los comandos AT que queramos.

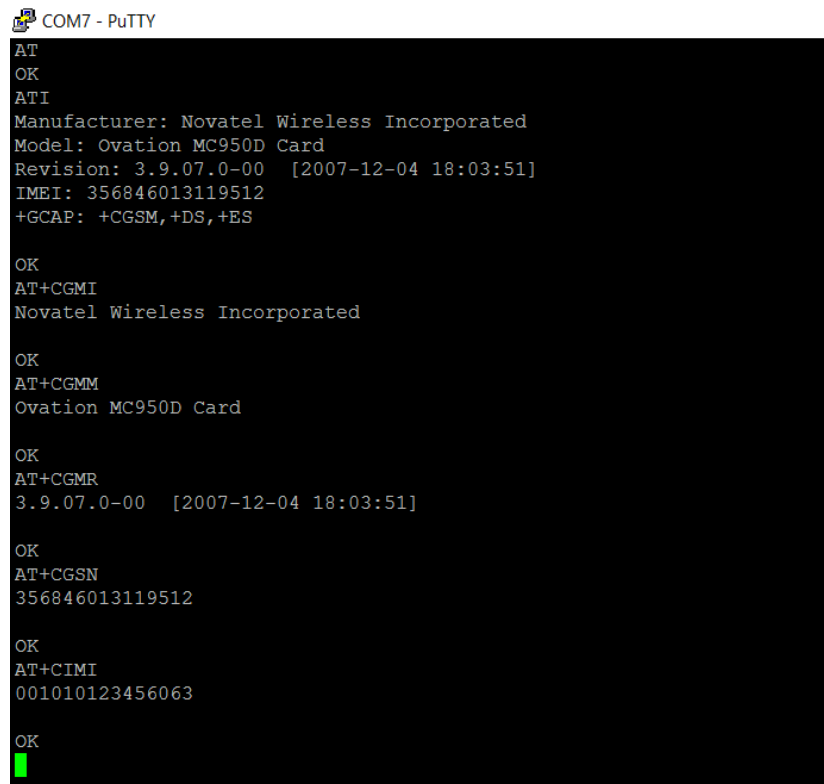


Ilustración 49. Consola de comandos de PuTTY.

Un detalle importante y bastante práctico, es tener activado el eco local, para poder ver en la pantalla lo que escribimos en cada momento.

Para activar el comportamiento de «eco local» se utiliza la categoría «Terminal» y en ella se fuerza el activado del eco (Local echo: Force on) en el cuadro «Line discipline options» (Veamos la Ilustración 50).

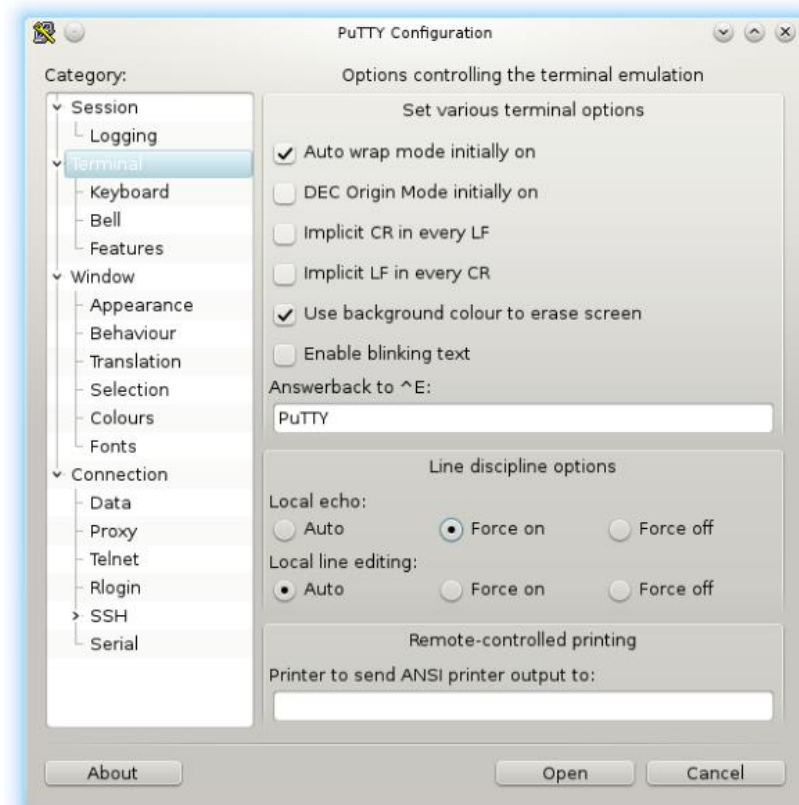


Ilustración 50. Activación de eco local en PuTTY.

Selección de comandos AT y pruebas con PuTTY:

En este apartado, haremos una selección de aquellos comandos AT útiles para obtener datos relacionados con la red privada GSM que hemos creado con el equipo R&S CMW500 como estación base.

+CSQ (Calidad de la señal recibida)

RSSI ,BER

(0-31,99), (99)

(-113 dBm hasta -51 dBm, no detectable), (no detectable)

Al escribir en PuTTY, “AT + CSQ”, obtenemos el valor del RSSI (Indicador de fuerza de señal de recepción) y del BER (Tasa de error binario), separados por una coma.

En primer lugar, definiremos estos dos parámetros:

El RSSI es una escala de referencia para medir el nivel de potencia de las señales recibidas por un dispositivo en redes inalámbricas. Dependiendo del terminal, el RSSI puede variar. El BER representa el número de bits recibidos de forma incorrecta respecto al total de bits enviados durante un intervalo especificado de tiempo.

Observando la tabla (Ilustración 51) que facilita el fabricante podemos ver el equivalente de esos valores lineales , y así obtener la potencia recibida en dBm .

Examples AT+CSQ?
+CSQ:18,99

AT+CSQ

+CSQ: 4,0

OK

Value	RSSI dBm	Condition
2	-109	Marginal
3	-107	Marginal
4	-105	Marginal
5	-103	Marginal
6	-101	Marginal
7	-99	Marginal
8	-97	Marginal
9	-95	Marginal
10	-93	OK
11	-91	OK
12	-89	OK
13	-87	OK
14	-85	OK
15	-83	Good
16	-81	Good
17	-79	Good
18	-77	Good
19	-75	Good
20	-73	Excellent
21	-71	Excellent
22	-69	Excellent
23	-67	Excellent
24	-65	Excellent
25	-63	Excellent
26	-61	Excellent
27	-59	Excellent
28	-57	Excellent
29	-55	Excellent
30	-53	Excellent

Valores que no están en la Ilustración 49 pero se deducen:

0: - 113 dBm ó menos

1: - 111 dBm

Ilustración 51. Tabla de referencia para RSSI [22].

Quality Band	Range of actual BER	Probability that the correct RXQUAL band is reported by MS shall exceed		
		Full rate Channel	Half rate Channel	DTX Mode
RXQUAL_0	Less than 0,1 %	90 %	90 %	65 %
RXQUAL_1	0,26 % to 0,30 %	75 %	60 %	35 %
RXQUAL_2	0,51 % to 0,64 %	85 %	70 %	45 %
RXQUAL_3	1,0 % to 1,3 %	90 %	85 %	45 %
RXQUAL_4	1,9 % to 2,7 %	90 %	85 %	60 %
RXQUAL_5	3,8 % to 5,4 %	95 %	95 %	70 %
RXQUAL_6	7,6 % to 11,0 %	95 %	95 %	80 %
RXQUAL_7	Greater than 15,0 %	95 %	95 %	85 %

NOTE 1: For the full rate channel RXQUAL_FULL is based on 104 TDMA frames.
 NOTE 2: For the half rate channel RXQUAL_FULL is based on 52 TDMA frames.
 NOTE 3: For the DTX mode RXQUAL_SUB is based on 12 TDMA frames.

Ilustración 52. Tabla de referencia para BER [23]

Command syntax : AT+CSQ

Command	Possible responses
AT+CSQ	+CSQ: <rss>, <ber> OK Note : <rss> and <ber> as defined below

6.1.3 Defined values :

<rss> :

0: -113 dBm or less

1: -111 dBm

30: -109 to -53 dBm

31: -51dBm or greater

99: not known or not detectable

<ber> : 0...7: as RXQUAL values in the table GSM 05.08

99: not known or not detectable

Ilustración 53. Tabla de referencia para el comando AT + CSQ [22].



A continuación, observamos unas pruebas que realizamos con el módem USB a una distancia de la antena de transmisión, de 1 metro aproximadamente.

Configuramos los siguientes parámetros en el R&S CMW500:

Atenuación externa salida = 40 dB

Atenuación externa entrada = 50 dB

Sin conectar la estación base (CMW500):

```
AT+CSQ
+CSQ: 99,99
```

Output Power= -42 dBm (MIN):

```
AT+CSQ
+CSQ: 25,99
```

Output Power= -43 dBm:

```
AT+CSQ
+CSQ: 22,99
```

Output Power = -56,10 dbm:

```
AT+CSQ
+CSQ: 15,99
```

Output Power = -60 dbm:

```
AT+CSQ
+CSQ: 12,99
```

Output Power = -70 dbm:

```
AT+CSQ
+CSQ: 1,99
```




+CMGL: Lista de mensajes recibidos en modo de texto

Con el R&S CMW500 como transmisor, y el módem USB como receptor, probamos a leer SMS. En primer lugar, activamos el modo de lectura texto:

```
AT+CMGF=0, modo PDU
```

```
AT+CMGF=1, modo texto
```

Para leer un mensaje SMS nuevo, que no ha sido leído anteriormente:

```
AT+CMGL="REC UNREAD"  
+CMGL: 5,"REC UNREAD","764332637249279",,"17/03/17,17:29:38+00"  
SMS Recibido
```

Para leer todos los mensajes SMS almacenados, en diferentes posiciones de memoria:

```
AT+CMGL="ALL"  
+CMGL: 0,"REC READ","123",,"17/03/17,17:14:20+00"  
0123456789 !"# *%+- ()<>?=@$, THE LAZY DOG.  
+CMGL: 1,"REC READ","123",,"17/03/17,17:15:07+00"  
0123456789 !"# *%+- ()<>?=@$, THE LAZY DOG.  
+CMGL: 2,"REC READ","123",,"17/03/17,17:19:47+00"  
SMS Recibido sage Service Text.  
+CMGL: 3,"REC READ","123",,"17/03/17,17:23:10+00"  
SMS Recibido  
+CMGL: 4,"REC READ","764332637249279",,"17/03/17,17:25:15+00"  
SMS Recibido  
+CMGL: 5,"REC READ","764332637249279",,"17/03/17,17:29:38+00"  
SMS Recibido  
OK
```

+CMGR: Lee mensaje almacenado en una posición de memoria concreta

En este caso, 4 es la posición de memoria donde está almacenado el mensaje que queremos leer.

```
AT+CMGR=4  
+CMGR: "REC UNREAD","764332637249279",,"17/03/17,17:25:15+00"  
SMS Recibido
```



+CMGD: Elimina un mensaje recibido

En este caso, el 1 es la posición de memoria del mensaje que queremos eliminar

```
AT+CMGD=1
OK
```

+COPS: Selección Red

Con “ AT+COPS?” observamos la red a la que está conectado el módem USB.

Con “ AT+COPS=?”, observamos todas las redes a las que se ha conectado anteriormente el módem USB.

```
AT+COPS?
+COPS: 0,0,"Test PLMN 1-1",2

OK
AT+COPS=?
+COPS: (2,"Test PLMN 1-1","Test1-1","00101",2)
+COPS: (3,"Orange","Orange","21403",0)
+COPS: (3,"vodafone ES","voda ES","21401",0)
+COPS: (3,"vodafone ES","voda ES","21401",2)
+COPS: (3,"movistar","movistar","21407",0)
+COPS: (3,"Orange","Orange","21403",2)
+COPS: (3,"Yoigo","YOIGO","21404",2)
+COPS: (3,"movistar","movistar","21407",2)
```

+CGDCONT: Define PDP (Protocolo Datos por paquete)

```
AT+CGDCONT?
+CGDCONT: 1,"IP","cmw500.rohde-schwarz.com","",0,0
```

6.2.2 Comunicación PC- GPS

La conexión con el ordenador portátil se realiza a través de la interfaz serie. El GPS incluye un cable destinado a esta función, el PC Interface Cable cuyo aspecto se muestra en la imagen (Ilustración 54).

Se trata de un cable con un extremo con conector COM, y un adaptador a USB, para conectarlo al PC, y con otro extremo con un conector especial para conectarlo al GPS por la parte superior.

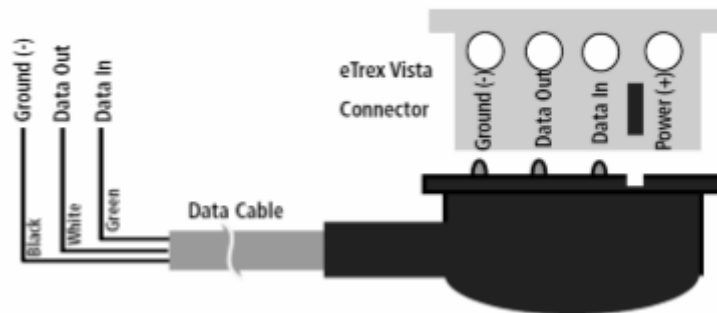


Ilustración 54. Extremo del PC Interface cable. Esta parte del cable se conecta con la parte superior del GPS [17].

6.3 Interfaz gráfica

Aunque la interfaz gráfica ha de ser lo último en hacer en una aplicación informática, la explicaré antes del código, para facilitar el entendimiento de ésta. Cuando se ejecuta la aplicación, la cual ha sido creada con la herramienta GUIDE, (un entorno de programación visual disponible en Matlab, veamos Ilustración 55), aparece la siguiente pantalla (Ilustración 56).

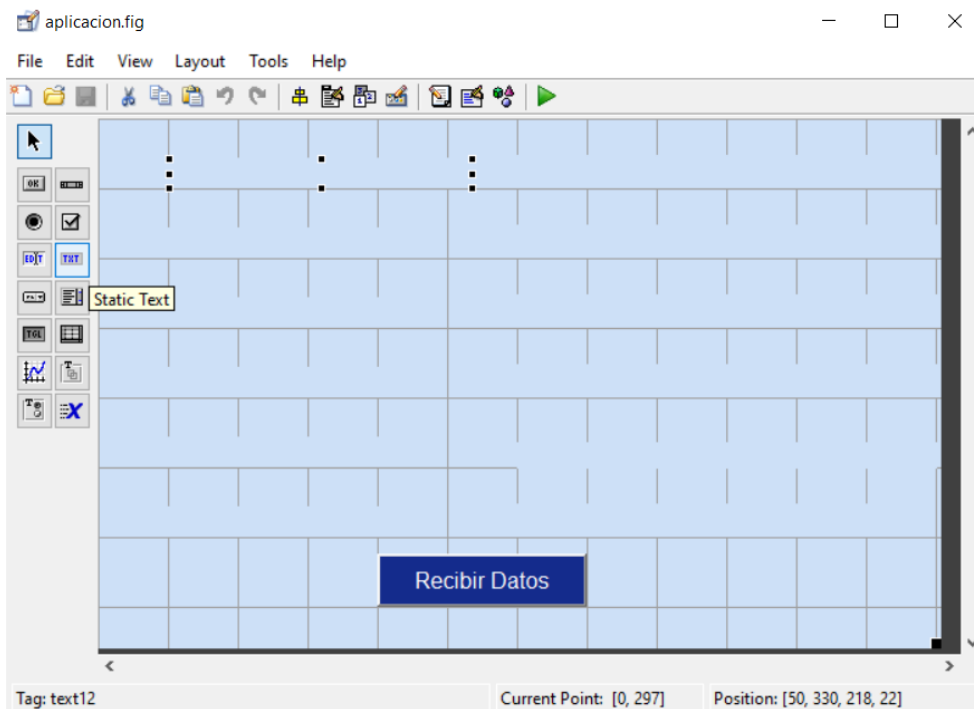


Ilustración 55. Entorno de diseño de GUI para la creación de nuestra aplicación.

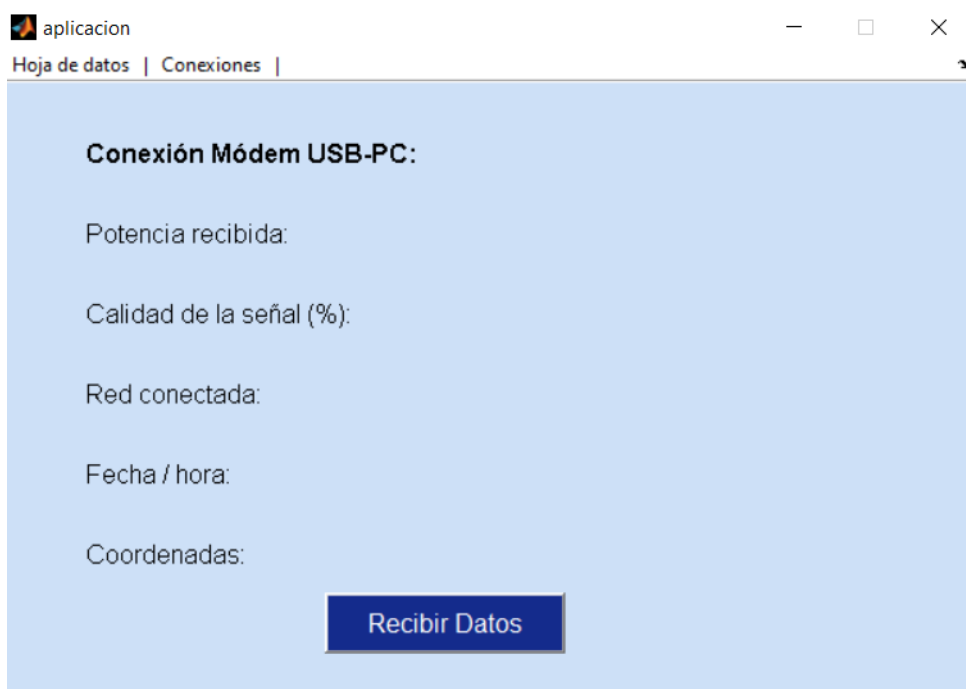


Ilustración 56. Pantalla principal de nuestra aplicación al ejecutar con Matlab.

En ella podemos observar el nombre de los datos que vamos a recibir. Estos nombres son: Potencia recibida, calidad de la señal (%), red conectada, fecha/hora y coordenadas. También podemos leer “Conexión módem USB-PC”. Cada uno de estos nombres está guardado en un objeto de nuestra GUI (Interfaz gráfica de usuario), conocido como “texto estático”.

En la barra de arriba, tenemos un menú con dos botones: Hoja de datos y Conexiones.

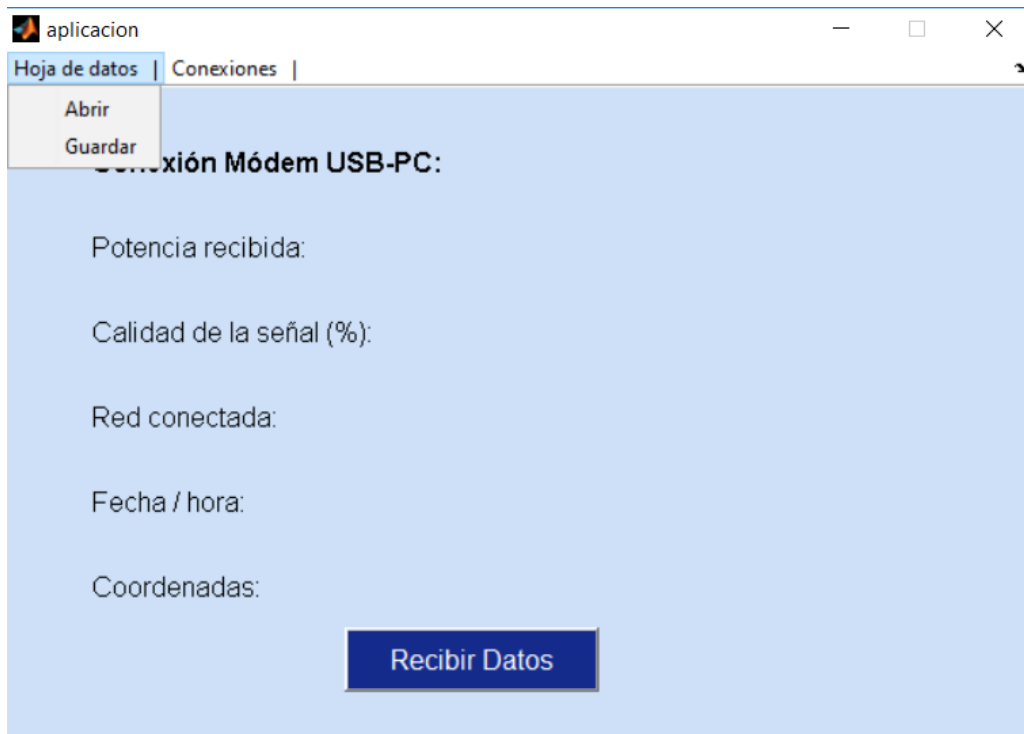


Ilustración 57. Pantalla principal de nuestra aplicación en Matlab.

Al presionar sobre “Hoja de datos”, se abren dos pestañas, “abrir” y “Guardar” (ver Ilustración 57). .Es decir, podremos guardar los datos que recibamos (almacenados en variables) en un documento de texto .txt con el nombre que queramos, para más tarde abrirlo (ver Ilustración 58).

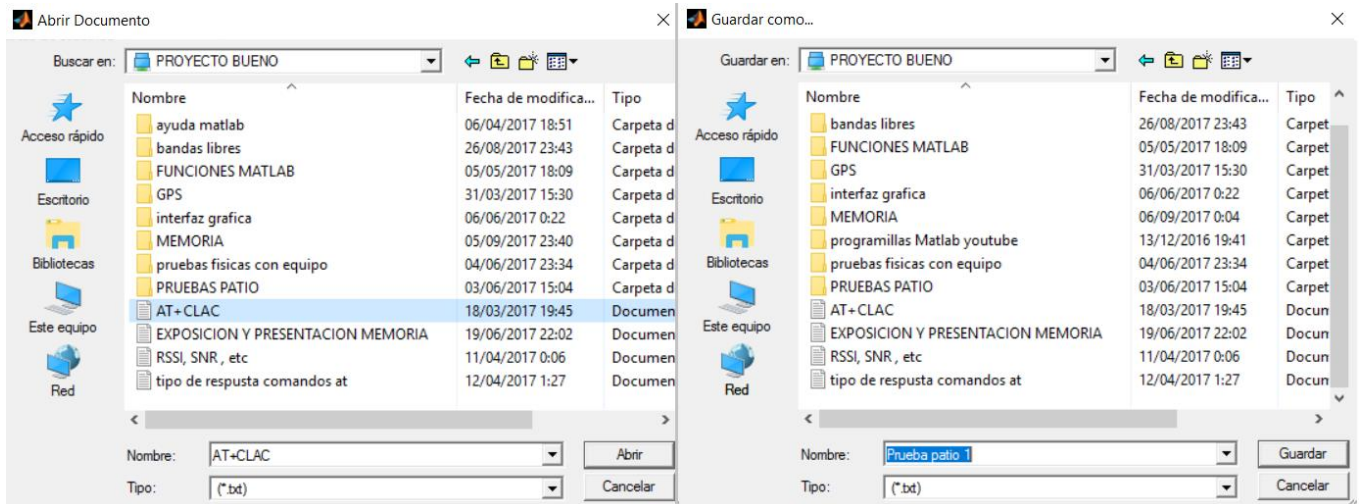


Ilustración 58. Abrir Documento y Guardar Documento desde nuestra aplicación Matlab

Si presionamos “Conexiones” (Ilustración 59), se abrirán dos pestañas, una para la configuración del módem USB, con cuatro pestañas para elegir el puerto de comunicación: “COM7”, “COM8”, “COM9”, y “COM10”.

La otra pestaña es para la configuración del GPS, pero no tendrá utilidad, ya que por defecto no suele variar el puerto COM. Utilizamos COM 12 en nuestro caso.

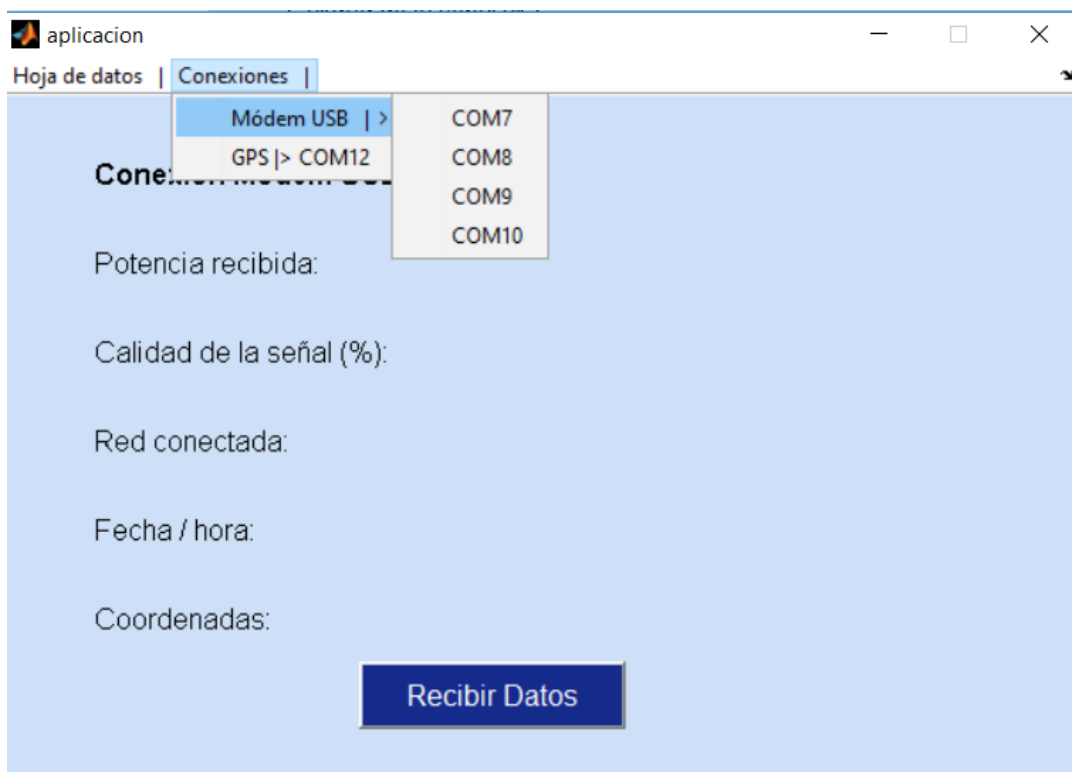


Ilustración 59. Pantalla principal de nuestra aplicación en Matlab.

Si por ejemplo seleccionamos “COM7”, veremos como a la derecha de “Conexión módem USB-pc”, aparecerá el texto “COM7 seleccionado”, y lo mismo ocurrirá si seleccionamos cualquier otra pestaña.

Ese texto “COM7 seleccionado”, está almacenado en un objeto de tipo “texto estático”, que a priori no podemos ver, ya que está vacío (no contiene texto), y cuyo cuadro es del mismo color que el fondo de la pantalla de la GUI.

Al pulsar el objeto de tipo botón, con el texto “Recibir Datos”, veremos como a la derecha de cada nombre de los datos, aparecerá la información de dichos datos. El texto de esta información está almacenado también en un objeto de tipo “texto estático”, y se irá modificando a medida que presionemos el botón.

6.4 Descripción de la aplicación (Código Matlab)

El código de la aplicación está repartido en diferentes funciones.
El código de la ventana principal al ejecutar la aplicación es:

```
function aplicacion_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)

% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject handle to figure
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin command line arguments to aplicacion (see VARARGIN)

% Choose default command line output for aplicacion

handles.output = hObject; % handles es el identificador mediante el que se accede a
los valores de las propiedades de los elementos(color, valor, posición,string...) y a
valores de variables, es decir datos de la aplicación.

set(handles.text12,'String', 'Conexión Módem USB-PC:'); % muestra el texto
‘Conexión Módem USB-PC’ en el objeto de la interfaz gráfica de texto estático,
llamado text12

set(handles.text1,'String', 'Potencia recibida:'); % muestra el texto ‘Potencia recibida’
en el objeto de la interfaz gráfica de texto estático, llamado text1
```



```
set(handles.text3,'String', 'Calidad de la señal (%) :'); % muestra el texto 'Calidad de la señal (%)' en el objeto de la interfaz gráfica de texto estático, llamado text3

set(handles.text5,'String', 'Red conectada:'); % muestra el texto 'Red conectada en el objeto de la interfaz gráfica de texto estático, llamado text5

set(handles.text7,'String', 'Fecha / hora:'); % muestra el texto 'Fecha/hora' en el objeto de la interfaz gráfica de texto estático, llamado text7

set(handles.text9,'String', 'Coordenadas:'); % muestra el texto 'Coordenadas en el objeto de la interfaz gráfica de texto estático, llamado text9

% Update handles structure

guidata(hObject, handles); % guidata es la sentencia para guardar los datos de la aplicación
```

Tabla 2. Código Matlab de la ventana principal.

El código para abrir un archivo al pulsar el botón “abrir” en el menú ,es el siguiente:

```
function abrir_Callback(hObject, eventdata, handles)

% hObject handle to abrir (see GCBO)

% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB

% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

[FileName Path]=uigetfile({'*.txt'},'Abrir Documento'); %Escribe la frase 'Abrir Documento' en la barra superior de la ventana que se abre al pulsar el botón 'Abrir'.

winopen(fullfile(Path, FileName)); % winopen abre el documento en la dirección especificada por el Path y el FileName del archivo
```

Tabla 3. Código Matlab para “abrir archivo”.

El código para guardar un nuevo archivo al pulsar el botón “guardar” en el menú, es el siguiente:

```
function guardar_Callback(hObject, eventdata, handles)

% hObject handle to guardar (see GCBO)

% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB

% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
```



```
global date; % variable con nombre 'date', de tipo global para poder trabajar
con ella fuera de esta función

global coordinatesString; % variable con nombre 'coordinatesString, de tipo
global para poder trabajar con ella fuera de esta función

global Pot_rx_dBm; % variable con nombre 'Pot_rx_dBm, de tipo global para
poder trabajar con ella fuera de esta función

global Calidad; % variable con nombre 'Calidad, de tipo global para poder
trabajar con ella fuera de esta función

global red; % variable con nombre 'red, de tipo global para poder trabajar con
ella fuera de esta función

[fname,pth] = uiputfile('.txt','Guardar como...'); %Escribe la frase 'Guardar
como...' en la barra superior de la ventana que se abre al pulsar el botón
'Guardar'.

dlmwrite([pth,fname],[Fecha/hora:      ' date ' >>|','Coordenadas:      '
coordinatesString ' >>|','Potencia recibida: ' Pot_rx_dBm ' >>|','Calidad señal: '
Calidad ' >>|','Red conectada: ' red '>>|','precision',30,'delimiter',' '); %Guarda
en un document de texto los datos de las variables globales.
```

Tabla 4. Código Matlab para “Guardar archivo”.

Al hacer clic en “Conexiones”, podremos ir al desplegable “módem USB-pc”, y tras ello, pulsar el botón necesario para seleccionar el puerto COM a través del cual nos comunicamos con el módem USB. Cada uno de esos botones tendrá su propio código Matlab, y estarán separados por diferentes funciones Matlab:

```
function com7_Callback(hObject, eventdata, handles)

% hObject  handle to com7 (see GCBO)

% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB

% handles  structure with handles and user data (see GUIDATA)

set(handles.text11,'String', 'COM7 seleccionado'); % muestra el texto 'COM 7
```



```
seleccionado' en el objeto de la interfaz gráfica de texto estático, llamado text11
global puertoCOM;
puertoCOM='COM7';
% -----
function com8_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject   handle to com8 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles   structure with handles and user data (see GUIDATA)
set(handles.text11,'String', 'COM8 seleccionado'); % muestra el texto 'COM 8
seleccionado' en el objeto de la interfaz gráfica de texto estático, llamado text11
global puertoCOM; % Crea una variable con nombre puertoCOM de tipo global
puertoCOM='COM8'; % Introduce en la variable de nombre puertoCOM el dato
'COM8'
% -----
function com9_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject   handle to com9 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles   structure with handles and user data (see GUIDATA)
set(handles.text11,'String', 'COM9 seleccionado ');% muestra el texto 'COM 9
seleccionado' en el objeto de la interfaz gráfica de texto estático, llamado text11
global puertoCOM; % Crea una variable con nombre puertoCOM de tipo global
puertoCOM='COM9'; % Introduce en la variable de nombre puertoCOM el dato
'COM9'
% -----
function com10_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject   handle to com10 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles   structure with handles and user data (see GUIDATA)
set(handles.text11,'String', 'COM10 seleccionado');% muestra el texto 'COM 10
seleccionado' en el objeto de la interfaz gráfica de texto estático, llamado text11
```

```
global puertoCOM; % Crea una variable con nombre puertoCOM de tipo global
puertoCOM='COM10'; % Introduce en la variable de nombre puertoCOM el
dato 'COM10'
```

Tabla 5. Código Matlab para selección de puerto COM en la conexión módem USB- PC.

El código para el botón “Recibir Datos”, está almacenado en una función (Tabla 5), dentro de la cual se encuentra el código para obtener los diferentes datos que queremos obtener. Al pulsar en la interfaz gráfica el botón “Recibir Datos”, automáticamente se ejecuta el código que hay en esta función, y recibimos los datos del módem USB, almacenándolos en diferentes variables, y mostrándolos a su vez en la interfaz gráfica:

```
function pushbutton_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to pushbutton (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
%-----POTENCIA RECIBIDA-----
% hObject handle to potenciaRx (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
% Configuración modem para obtener potencia recibida
global Pot_rx_dBm; % Crea una variable con nombre 'Pot_rx_dBm' de tipo global
global Calidad; % Crea una variable con nombre 'Calidad' de tipo global
global puertoCOM; % Crea una variable con nombre 'puertoCOM' de tipo global
s=serial(puertoCOM); % Almaceno en la variable s , el dispositivo serial que
corresponde a la variable de tipo global puertoCOM.
set(s,'Baudrate',9600); % se configura la velocidad a 9600 Baudios
set(s,'StopBits',1); % se configura bit de parada a uno
set(s,'DataBits',8); % se configura que el dato es de 8 bits, debe estar entre 5 y 8
set(s,'Parity','none'); % se configura sin paridad
```



```
set(s,'FlowControl', 'none'); % sin flujo de control

set(s,'Terminator','CR/LF'); % “c” caracter con que finaliza el envío

set(s,'OutputBufferSize',1024); % Tamaño buffer salida

set(s,'InputBufferSize' ,2048); %Tamaño buffer entrada

set(s,'Timeout',3); %3 segundos de tiempo de espera

fopen(s); % Abre el dispositivo s (modem) para poder trabajar con él

fprintf(s,'AT+CSQ'); % El PC le envía al modem el comando AT : ‘AT+CSQ’

bytes = s.BytesAvailable; % vemos los bytes disponibles en el módem

in= fscanf(s); % El modem confirma al PC, devolviendo ese mismo comando AT

input=fgets(s); % El modem devuelve al PC, el dato que queremos obtener y lo
almacenamos en la variable ‘input’

% Tabla de conversión de valores normalizados del RSSI , para obtener valores en
dBm

conversionTable = [0:1:31, 99; -113:2:-51, 0];

%ejemplo : input= '+CSQ: 10,99\n ';

%PUEDO CONOCER LA POSICION DE LOS DOS PUNTOS Y LA COMA

inicio = strfind(input,':')+1;

% AVANZO UNA POSICION (+1) PARA NO QUEDARME EN EL ESPACIO

% PUEDO CONOCER LA POSICION DE LA COMA.

coma = strfind(input, ',');

% PUEDO BUSCAR EL SALTO DE LINEA

retorno = strfind(input, '\n');

% Simplemente tengo que delimitar el string desde las posiciones de inicio

% y la primera coma, y desde la coma hasta el salto de linea:

RssiString = input(inicio+1:coma-1);

BerString = input(coma+1:retorno-1);

% Conversion a double

rssi= str2double(RssiString); % según el ejemplo obtengo el 10
```



```
BER= str2double(BerString); % según el ejemplo obtengo el 99

index = find(conversionTable(1,:) == rssi);

Pot_rx = conversionTable(2, index); % obtengo la potencia en dBm tras movernos
por la tabla conversión del RSSI

Pot_rx_dBm = [num2str(Pot_rx) ' dBm ']; % Guardo en la variable Pot_rx_dBm el
valor numérico de Pot_rx y además añado el texto 'dBm' a continuación.

Calidad;

if(Pot_rx<0)

Calidad= abs(2 * (Pot_rx + 100)); % creamos una nueva variable 'Calidad' a partir
de esa formula, que tiene relación con la variable Pot_rx

else

Calidad=0;

end

set(handles.text2,'String', Pot_rx_dBm ); % muestra el valor de la variable 'Pot
_rx_dBm' en el objeto de la interfaz gráfica de texto estático, llamado text12

set(handles.text4,'String', Calidad ); % muestra el valor de la variable 'Calidad' en el
objeto de la interfaz gráfica de texto estático, llamado text14

fclose(s); % Cierra el dispositivo s (la variable s)

delete(s); % elimina s

clear s; % limpia cualquier valor de s

%-----RED CONECTADA-----

global red; % variable con nombre 'red' de tipo global

s=serial(puertoCOM); % Almaceno en la variable s , el dispositivo serial que
corresponde a la variable de tipo global puertoCOM.

set(s,'Baudrate',9600); % se configura la velocidad a 9600 Baudios

set(s,'StopBits',1); % se configura bit de parada a uno

set(s,'DataBits',8); % se configura que el dato es de 8 bits, debe estar entre 5 y 8

set(s,'Parity','none'); % se configura sin paridad

set(s,'FlowControl', 'none'); % sin control de flujo

set(s,'Terminator','CR/LF');% "c" caracter con que finaliza el envío
```



```
set(s,'OutputBufferSize',1024); % Tamaño buffer salida
set(s,'InputBufferSize',2048); %Tamaño buffer salida
set(s,'Timeout',2); % 2 segundos de tiempo de espera
fopen(s); %abrimos el dispositivo s (módem)
fprintf(s,'AT+COPS?'); % El PC le envía al modem el comando AT : 'AT+COPS?'
bytes2 = s.BytesAvailable; % vemos los bytes disponibles en el módem
in2= fscanf(s); % El modem confirma al PC, devolviendo ese mismo comando AT
red=fgets(s); % El modem devuelve al PC, el dato que queremos obtener y lo
almacenamos en la variable 'red'
set(handles.text6,'String', red); % muestra el valor que hay en la variable 'red' en
el objeto de la interfaz gráfica de texto estático, llamado text6
fclose(s); % Cierra el dispositivo s (la variable s )
delete(s); % elimina s
clear s; % limpia cualquier valor de s

% -----FECHA Y HORA-----
global date; % creamos una variable de nombre 'date' y de tipo global
date= datestr(now); % para obtener la fecha y la hora usamos la instrucción
datestr(now) de matlab y la almacenamos en la variable 'date'
set(handles.text8,'String', date); % muestra el valor que hay en la variable 'date' en
el objeto de la interfaz gráfica de texto estático, llamado text8

% -----GPS COORDENADAS-----
global coordinatesString; ; % creamos una variable de nombre 'coordinatesString' y
de tipo global
s=serial('COM12'); % almaceno en la variable s el dispositivo comunicado con el
Puerto COM12, o sea, el GPS
set(s,'Baudrate',4800); % se configura la velocidad a 9600 Baudios
set(s,'StopBits',1); % se configura bit de parada a uno
set(s,'DataBits',8); % se configura que el dato es de 8 bits, debe estar entre 5 y 8
set(s,'Parity','none'); % se configura sin paridad
```



```
set(s,'Terminator','LF');% “c” caracter con que finaliza el envío
set(s,'OutputBufferSize',10000000); % Tamaño buffer salida
set(s,'InputBufferSize' ,10000000); % Tamaño buffer entrada
set(s,'Timeout',100); % 100 segundos de tiempo de espera
fopen(s);
s.ReadAsyncMode = 'continuous';
data="";
while isempty(strmatch('$GPGLL',data))
    data= fgets(s);
end
[lat,data] = strtok(data,','); %La función del strtok se utiliza para encontrar el
símbolo siguiente en una secuencia. El símbolo es especificado por una lista de
delimitadores posibles.
[lat,data] = strtok(data,',');
[nsCardinal,data] = strtok(data,',');
[long,data] = strtok(data,',');
[ewCardinal,data] = strtok(data,',');
latGrados = str2double(lat)/100 ;
longGrados = str2double(long)/100 ;
coordinatesString = [num2str(latGrados) ' grados ' nsCardinal ' , '
num2str(longGrados) ' grados ' ewCardinal];
set(handles.text10,'String',coordinatesString); % muestra el valor que hay en la
variable ‘coordinatesString’ en el objeto de la interfaz gráfica de texto estático,
llamado text10
fclose(s); % cierro la variable s
delete(s); % elimino la variable s
clear s; % limpio cualquier dato de la variable s
```

Tabla 6. Código Matlab para el botón “Recibir datos”.

7. Validación de los resultados

7.1 Adquisición de datos en función de la distancia R&S CMW500 – Módem USB

En este apartado, veremos los datos que obtuvimos, al tomar diferentes medidas. Para ello, lo que hicimos fue, en primer lugar, configurar la potencia de salida del R&S CMW500 a -27 dBm (máxima Potencia) y el estándar comunicación como GSM900. Sin variar estos parámetros, nos íbamos desplazando por el patio de la universidad, con el ordenador portátil, el cual tenía conectado el módem USB y el GPS, e íbamos guardando datos desde diferentes posiciones.

7.1.1 Mapa de posiciones

A continuación, vemos las diferentes posiciones sobre el mapa, desde las que realizamos las medidas.

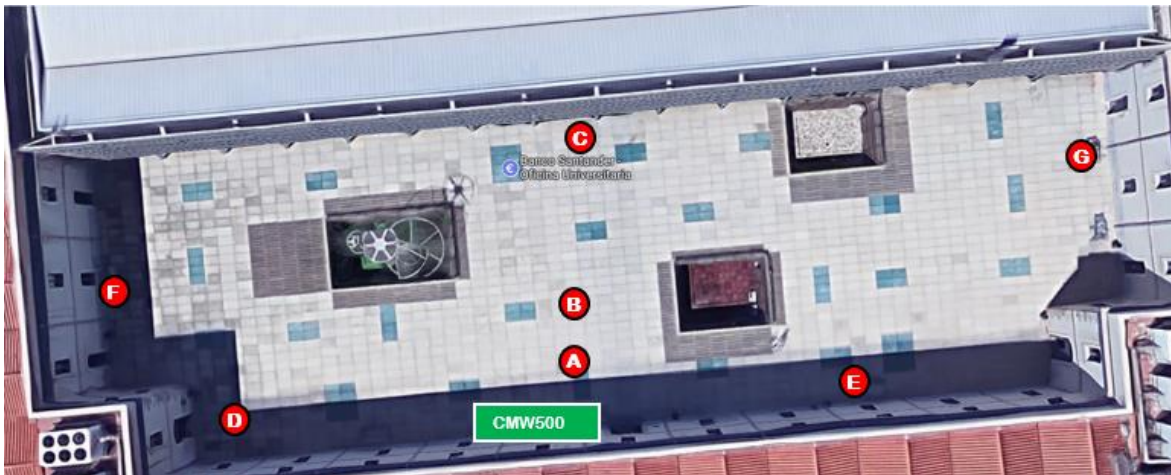


Ilustración 60. Patio de la facultad de Telecomunicaciones de la UPCT. [24].

Escala: 1:1000 cm (1 cm: 10 metros)



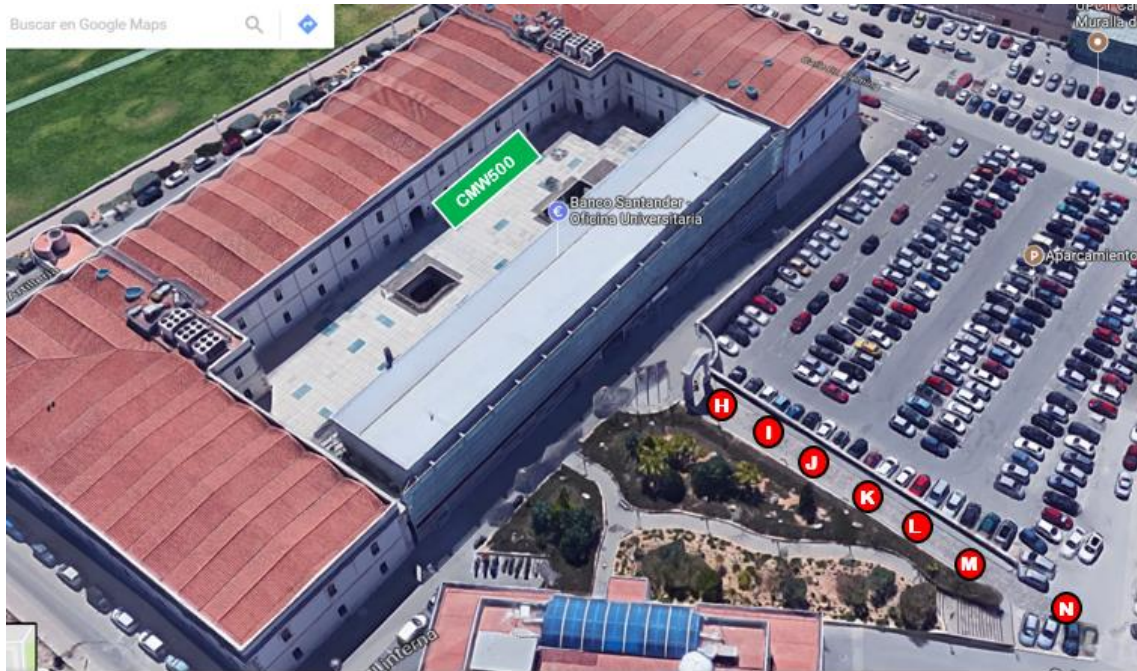


Ilustración 61. Facultad de Telecomunicaciones de la UPCT. [24].



Ilustración 62. Parking de la facultad de Telecomunicaciones de la UPCT y arco de Antigones al fondo [24].

Veamos lo que nos mostraba la aplicación Matlab al medir desde las diferentes posiciones:

- Posición A: A unos 4 metros del equipo R&S CMW500

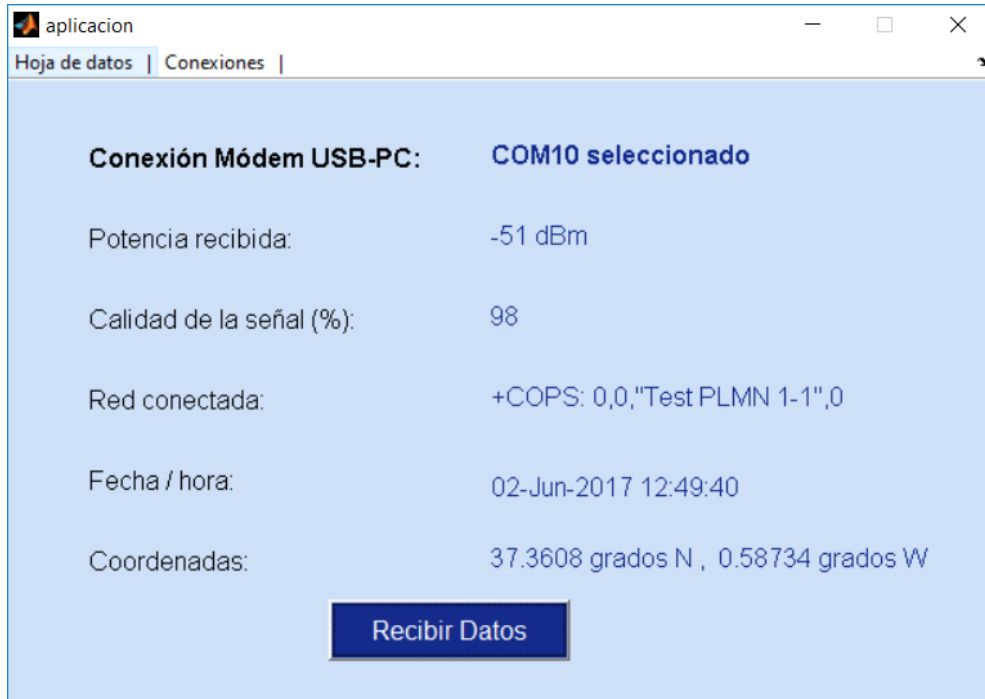


Ilustración 63. Posición A.

- Posición B: A unos 8 metros del equipo R&S CMW500



Ilustración 64. Posición B.

- Posición C: A unos 26 metros del equipo R&S CMW500. Justo en frente de la puerta de la biblioteca y prácticamente del propio equipo R&S CMW500.



Ilustración 65. Posición C.

- Posición D: A unos 30 metros del equipo R&S CMW500. Al lado de la puerta del ascensor que sube a la secretaría de la escuela de Telecomunicaciones.



Ilustración 66. Posición D.

- Posición E: A unos 35 metros del equipo R&S CMW500. En el banco de al lado de la puerta de la biblioteca.

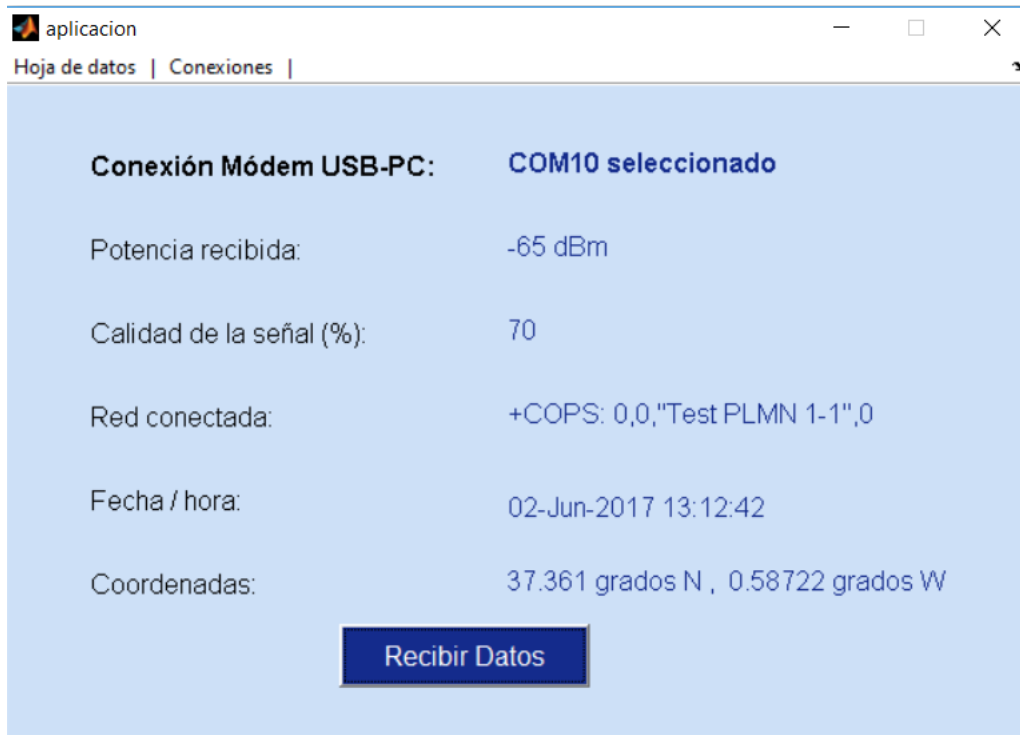


Ilustración 67. Posición E.

- Posición F: A unos 45 metros del equipo R&S CMW500. En el banco que está al lado de las aulas de estudio.

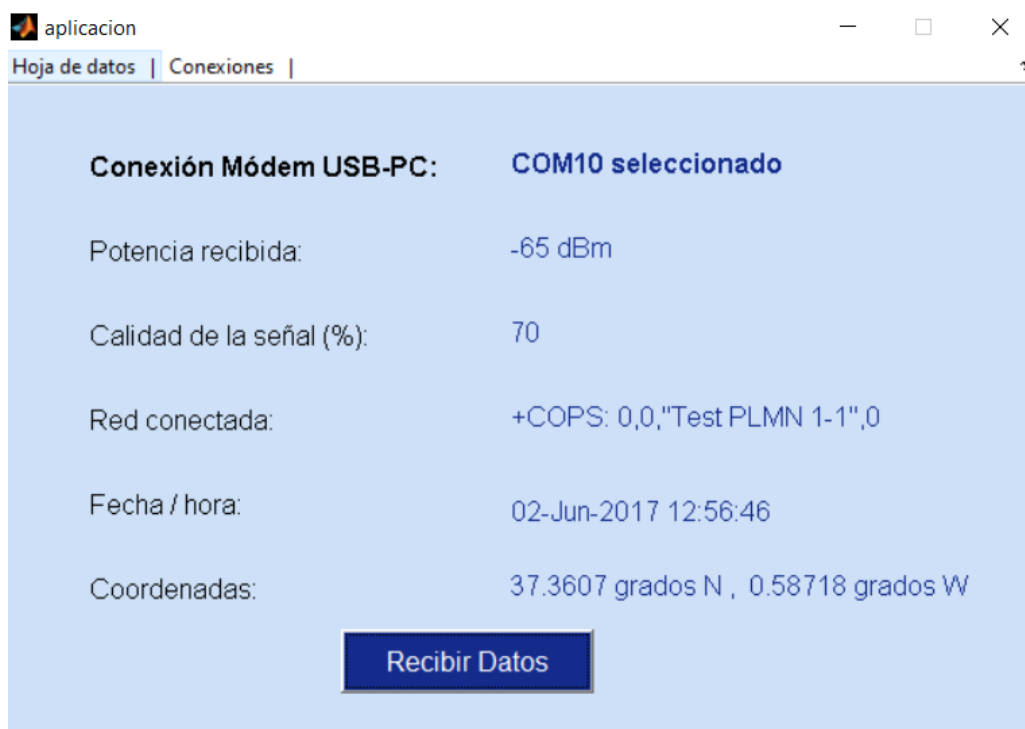


Ilustración 68. Posición F.

- Posición G: A unos 55 metros del equipo R&S CMW500. En el banco que hay al lado de la cantina.

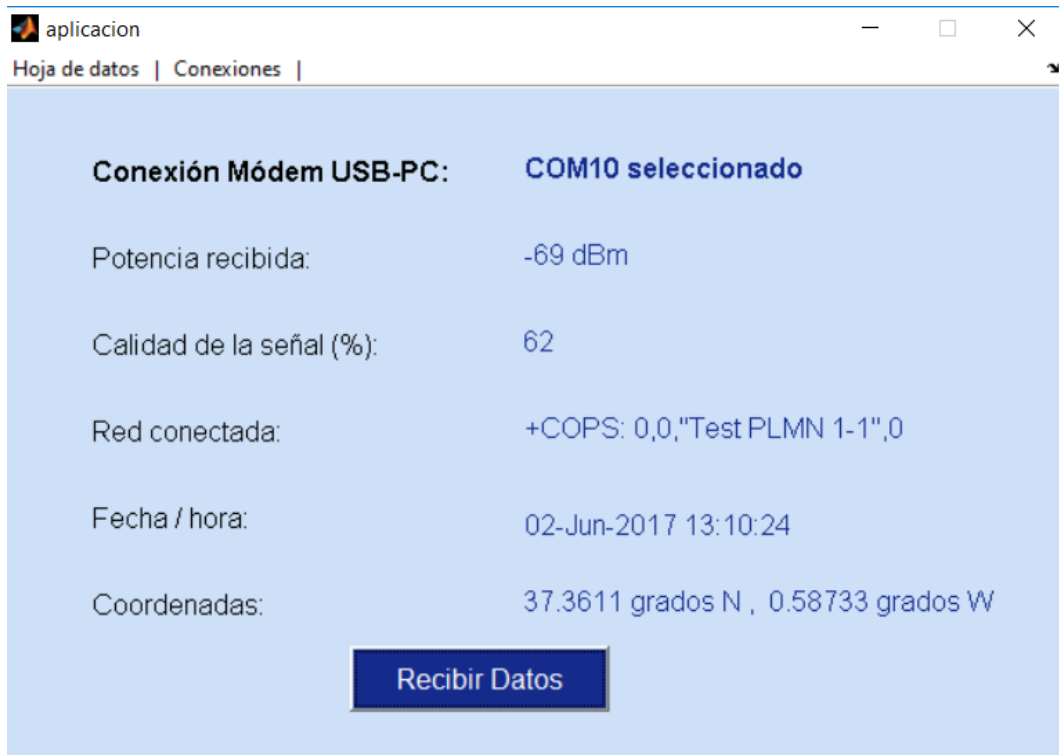


Ilustración 69. Posición G.

- Posición H: A unos 60 metros del equipo R&S CMW500. En el arco de entrada al cuartel de Antigones.

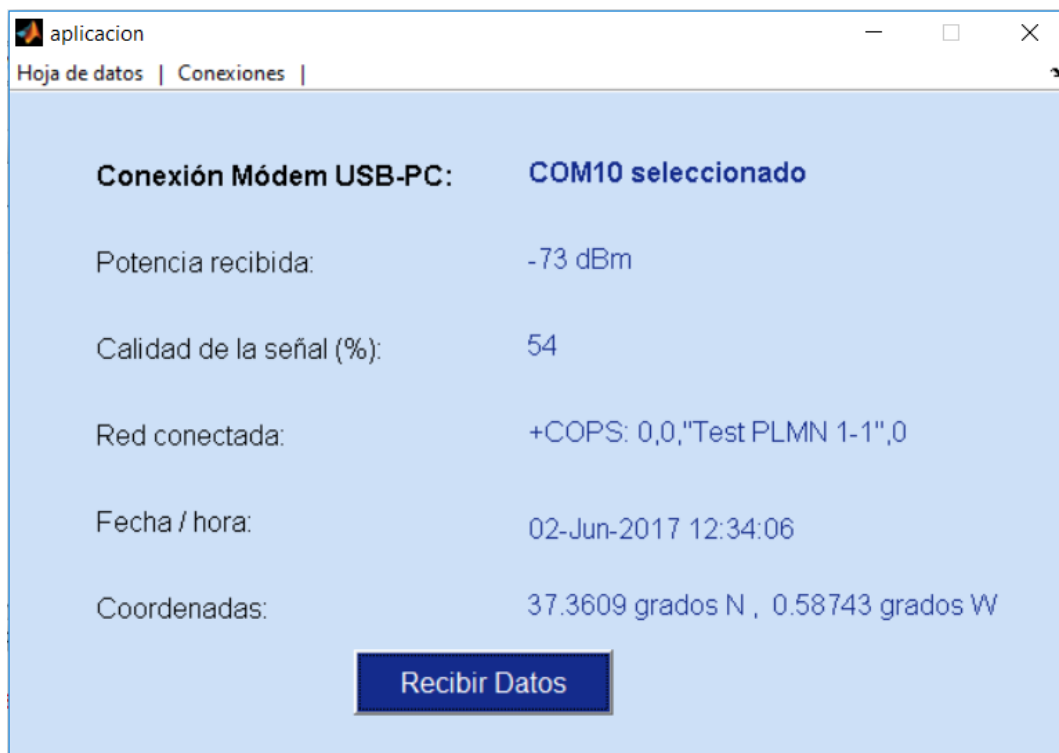


Ilustración 70. Posición H.

Llegados a este punto, todas las medidas se realizarán en la cuesta que va del arco del cuartel de Antigonos hasta el edificio ELDI, donde finalmente se perderá la señal.

- Posición I: A unos 70 metros del equipo R&S CMW500.

The screenshot shows a window titled 'aplicacion' with a menu bar containing 'Hoja de datos' and 'Conexiones'. The main content area displays the following data:

Conexión Módem USB-PC:	COM10 seleccionado
Potencia recibida:	-83 dBm
Calidad de la señal (%):	34
Red conectada:	+COPS: 0,0,"Test PLMN 1-1",0
Fecha / hora:	02-Jun-2017 12:37:01
Coordenadas:	37.3609 grados N , 0.58753 grados W

At the bottom center, there is a blue button labeled 'Recibir Datos'.

Ilustración 71. Posición I.

- Posición J: A unos 80 metros del equipo R&S CMW500.

The screenshot shows a window titled 'aplicacion' with a menu bar containing 'Hoja de datos' and 'Conexiones'. The main content area displays the following data:

Conexión Módem USB-PC:	COM10 seleccionado
Potencia recibida:	-89 dBm
Calidad de la señal (%):	22
Red conectada:	+COPS: 0,0,"Test PLMN 1-1",0
Fecha / hora:	02-Jun-2017 12:38:02
Coordenadas:	37.3609 grados N , 0.58759 grados W

At the bottom center, there is a blue button labeled 'Recibir Datos'.

Ilustración 72. Posición J.

- Posición K: A unos 90 metros del equipo R&S CMW500.

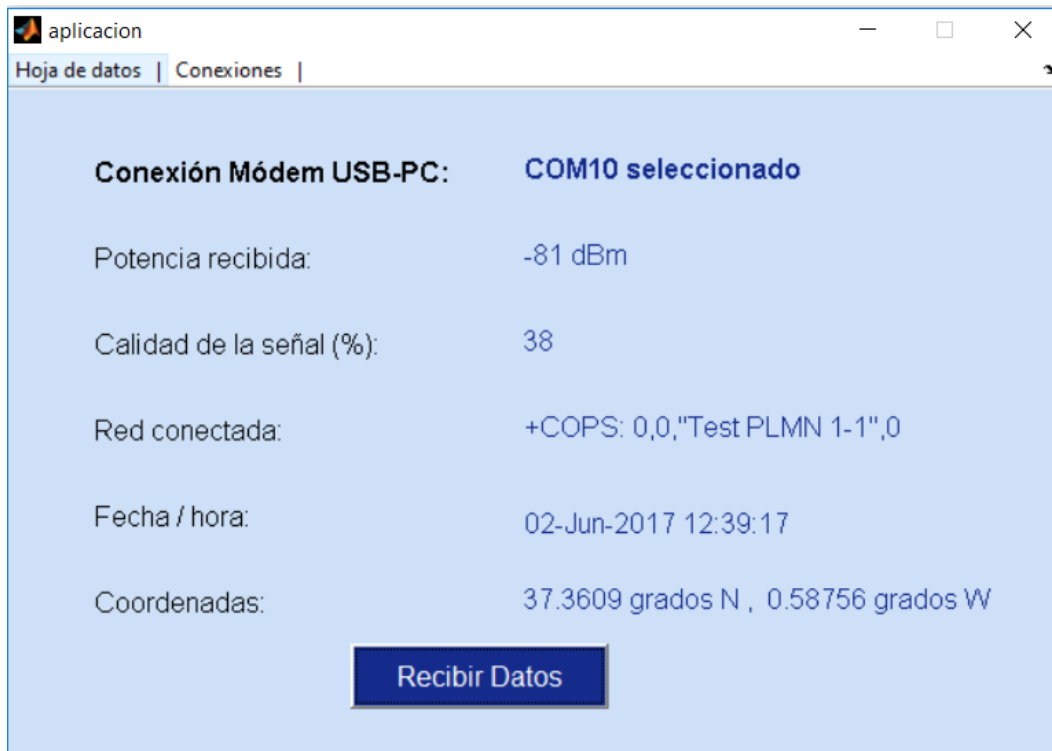


Ilustración 73 Posición K

- Posición L: A unos 100 metros del equipo R&S CMW500.

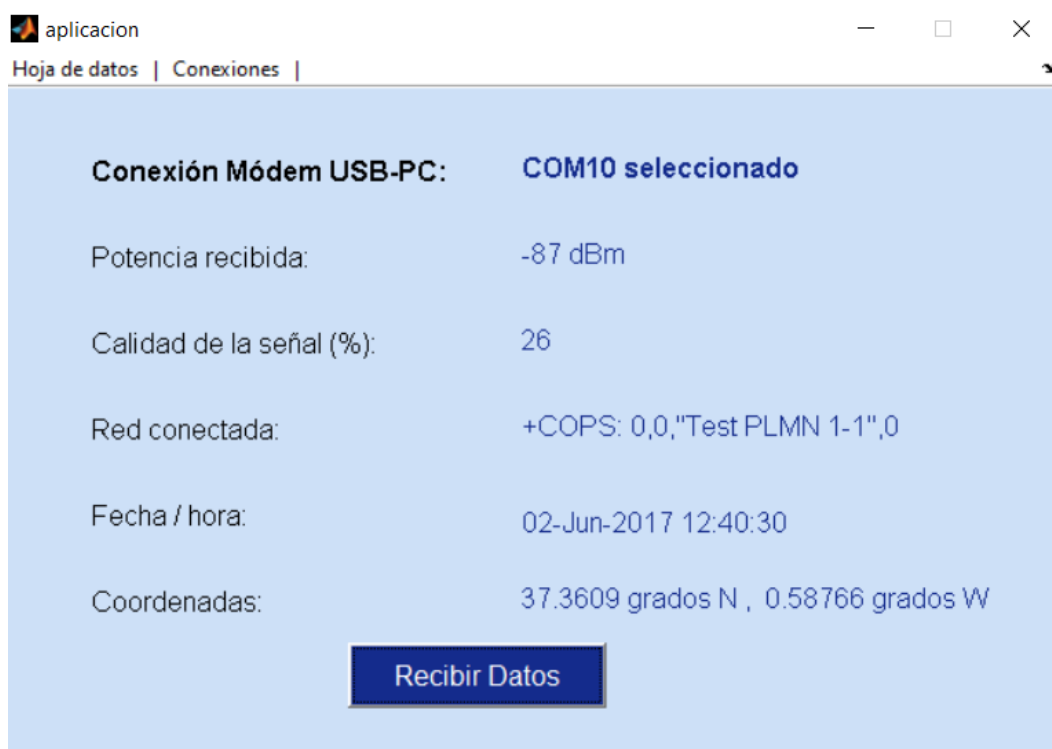


Ilustración 74. Posición L.

- Posición M: A unos 110 metros del equipo R&S CMW500.

The screenshot shows a software application window titled 'aplicacion' with a menu bar containing 'Hoja de datos' and 'Conexiones'. The main content area displays the following data:

Conexión Módem USB-PC:	COM10 seleccionado
Potencia recibida:	-93 dBm
Calidad de la señal (%):	14
Red conectada:	+COPS: 0,0,"Test PLMN 1-1",0
Fecha / hora:	02-Jun-2017 12:41:20
Coordenadas:	37.3608 grados N , 0.58773 grados W

At the bottom center of the window is a blue button labeled 'Recibir Datos'.

Ilustración 75. Posición M.

- Posición N: A unos 130 metros del equipo R&S CMW500.

The screenshot shows a software application window titled 'aplicacion' with a menu bar containing 'Hoja de datos' and 'Conexiones'. The main content area displays the following data:

Conexión Módem USB-PC:	COM10 seleccionado
Potencia recibida:	-95 dBm
Calidad de la señal (%):	10
Red conectada:	+COPS: 0,0,"Test PLMN 1-1",0
Fecha / hora:	02-Jun-2017 12:42:29
Coordenadas:	37.3608 grados N , 0.58789 grados W

At the bottom center of the window is a blue button labeled 'Recibir Datos'.

Ilustración 76. Posición N.

- Posición Ñ: A unos 145 metros del equipo R&S CMW500. Al lado del edificio ELDI.

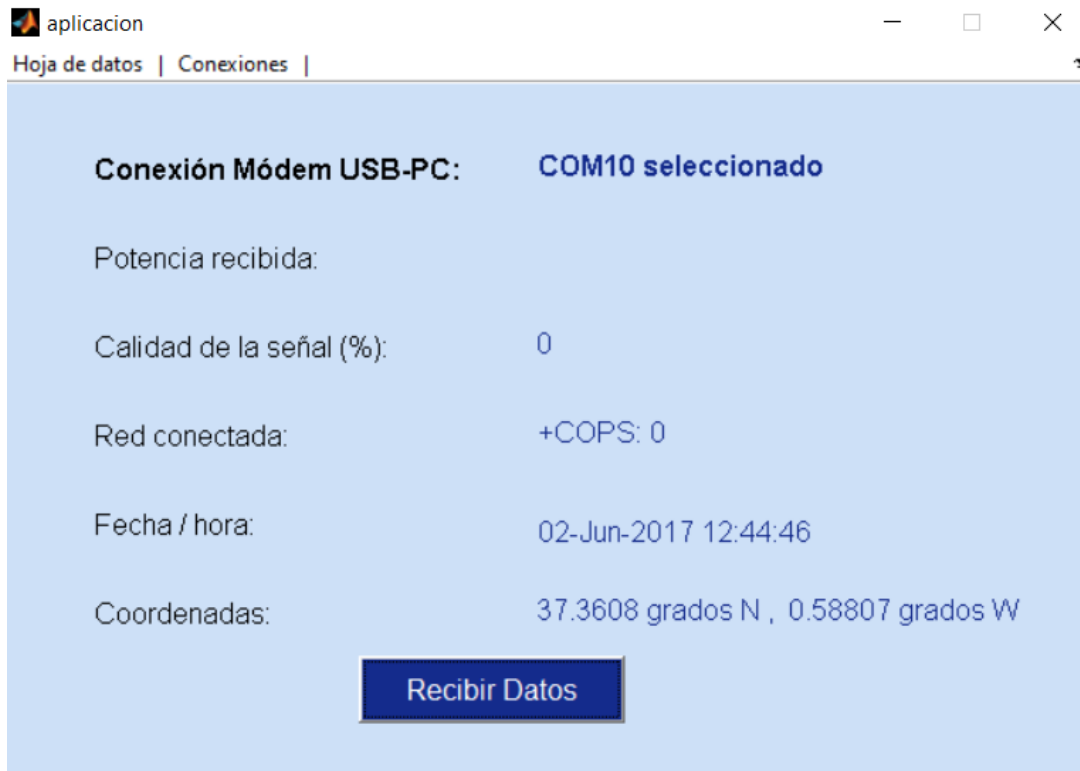


Ilustración 77. Posición Ñ.

Si observamos ahora la imagen (Ilustración 77), no aparece la red conectada “Test PLMN 1-1”, como en casos anteriores. Esto es lógico, ya que no recibimos potencia y la calidad de la señal es 0%, es decir, se ha perdido la señal de nuestra red GSM y no llega ninguna señal al módem USB.

7.1.2 Gráfica calidad señal recibida (%) / distancia transmisor-receptor

A continuación vemos una tabla y una gráfica donde se recogen los resultados obtenidos, y observamos cómo la calidad de la señal recibida (%), disminuye con la distancia. Podemos comprobar que al no tratarse de un espacio abierto, esto no es exacto en todas las medidas, puesto que existen rebotes en las paredes de los edificios y entran en juego réplicas de la señal. Es decir, aunque en la teoría parece una ecuación proporcional, en la práctica no lo es, por todos estos factores que influyen.

Potencia salida del R&S CMW500 : -27 dBm		
Posición	Potencia recibida (dBm)	Calidad señal recibida (%)
A	-51	98
B	-53	94
C	-57	86
D	-55	90
E	-65	70
F	-65	70
G	-69	62
H	-73	54
I	-83	34
J	-89	22
K	-81	38
L	-87	26
M	-93	14
N	-95	10
Ñ	-	0

Tabla 7. Datos obtenidos con una Pot.salida máxima del R&S CMW500: -27 dBm

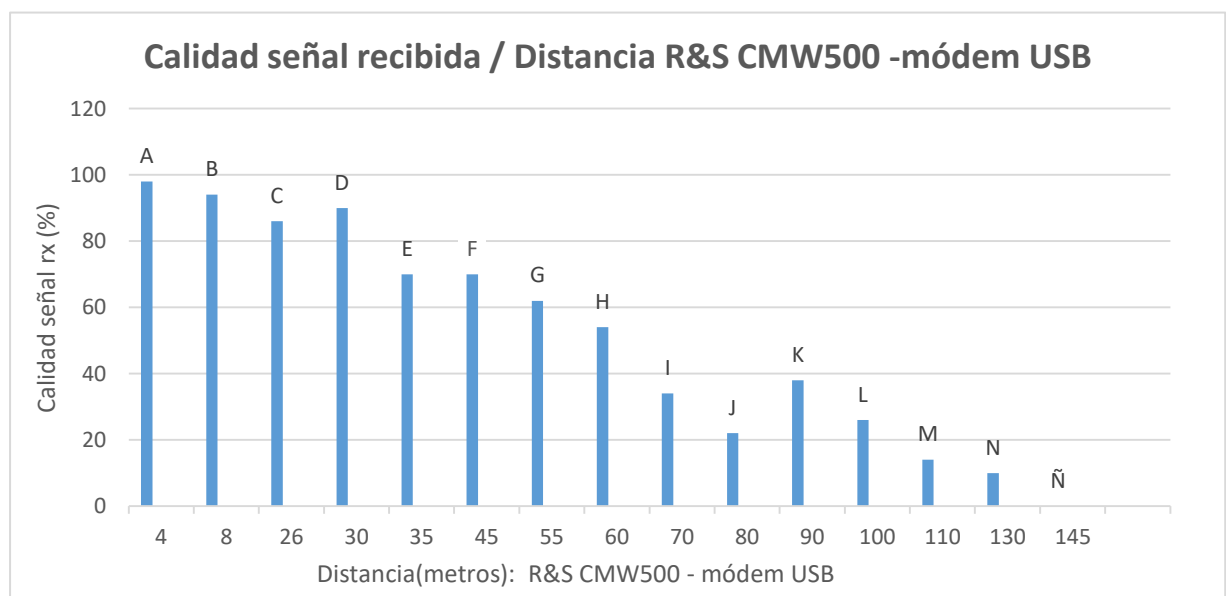


Ilustración 78. Gráfica de la calidad señal recibida (%) / distancia R&S CMW500-módem USB.

7.2 Adquisición de datos en función de la Potencia de salida del R&S CMW500

En este apartado, nos centramos en algunas posiciones del apartado anterior, y disminuimos la Potencia de salida del R&S CMW500 a -50 dBm. Podemos comprobar que la potencia recibida por el módem USB ahora es menor en cada uno de las posiciones.

7.2.1 Mapa de posiciones

- Posición A: A unos 4 metros del equipo R&S CMW500

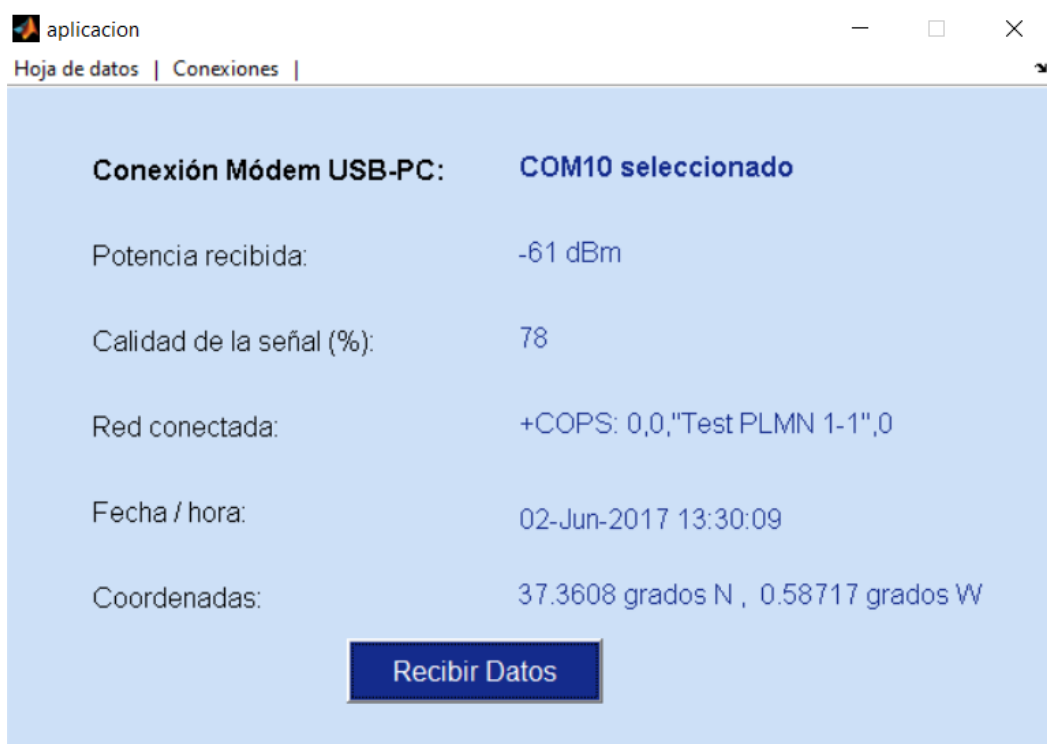


Ilustración 75. Posición A

- Posición C: A unos 26 metros del equipo R&S CMW500. Justo en frente de la puerta de la biblioteca y prácticamente del propio equipo R&S CMW500

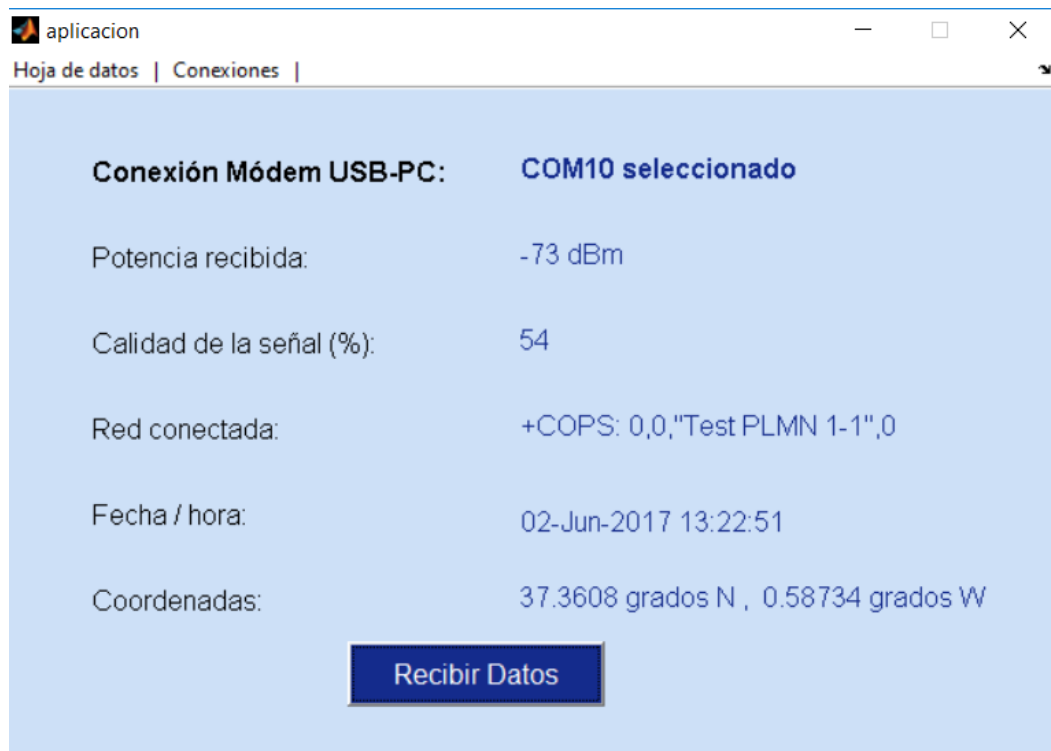


Ilustración 76. Posición C

- Posición E: A unos 35 metros del equipo R&S CMW500. En el banco de al lado de la puerta de la biblioteca.

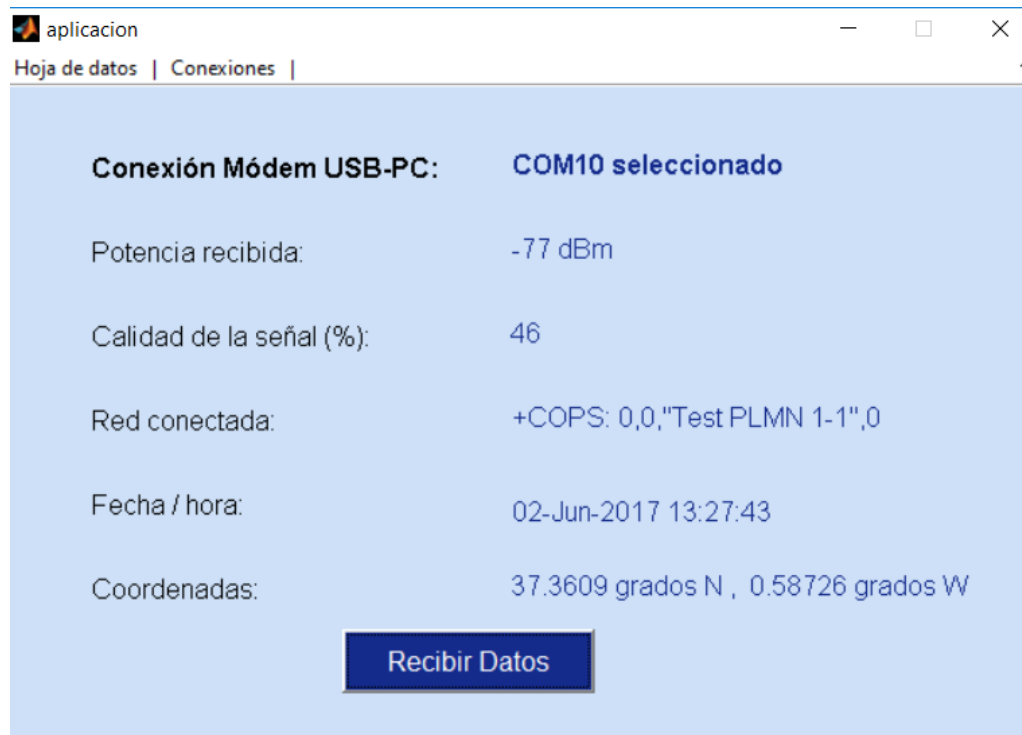


Ilustración 79. Posición E.

- Posición F: A unos 45 metros del equipo R&S CMW500. En el banco que está al lado de las aulas de estudio

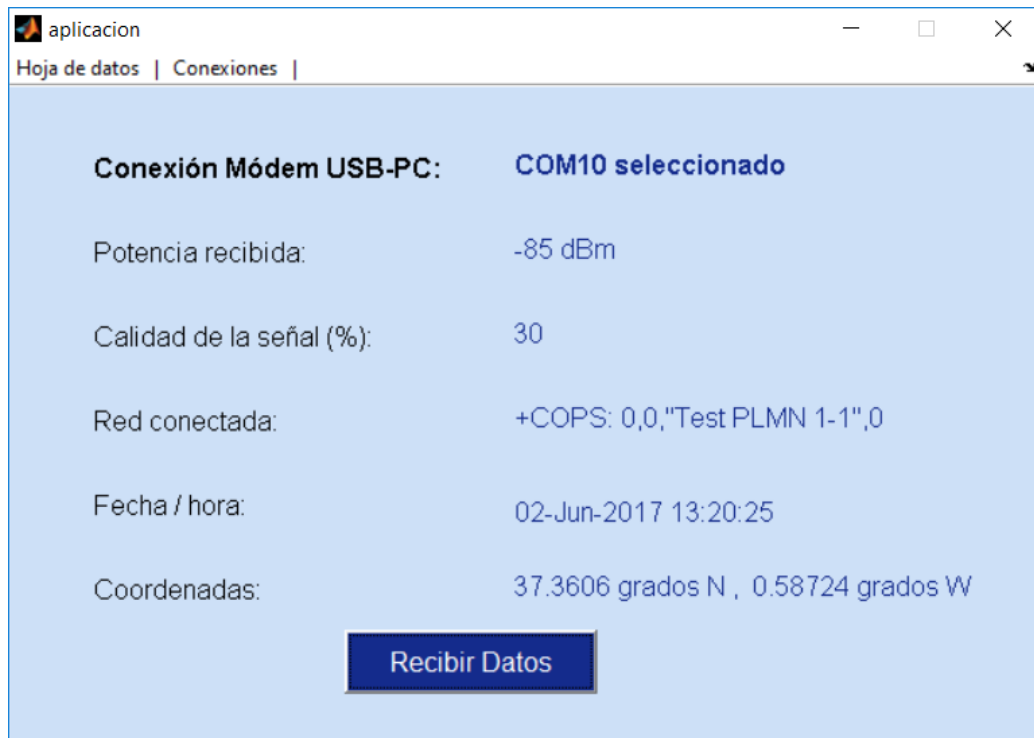


Ilustración 80. Posición F.

- Posición G: A unos 55 metros del equipo R&S CMW500. En el banco que hay al lado de la cantina

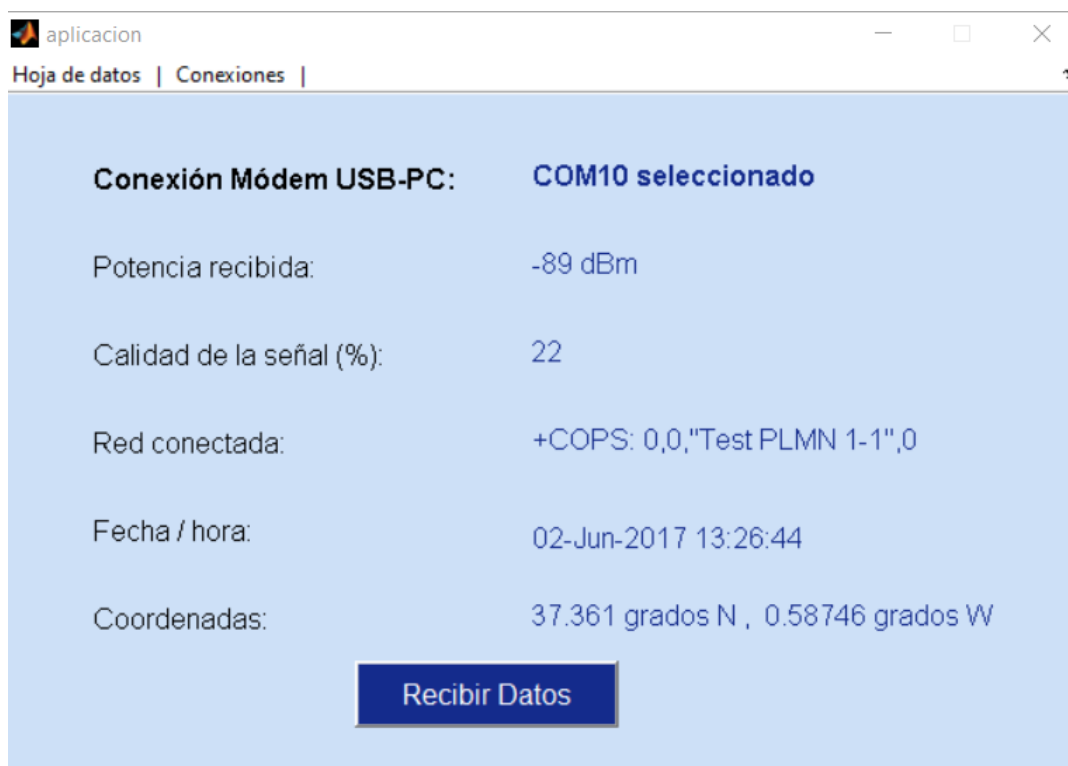


Ilustración 81. Posición G.

- Posición H: A unos 60 metros del equipo R&S CMW500. En el arco de entrada al cuartel de Antigonos

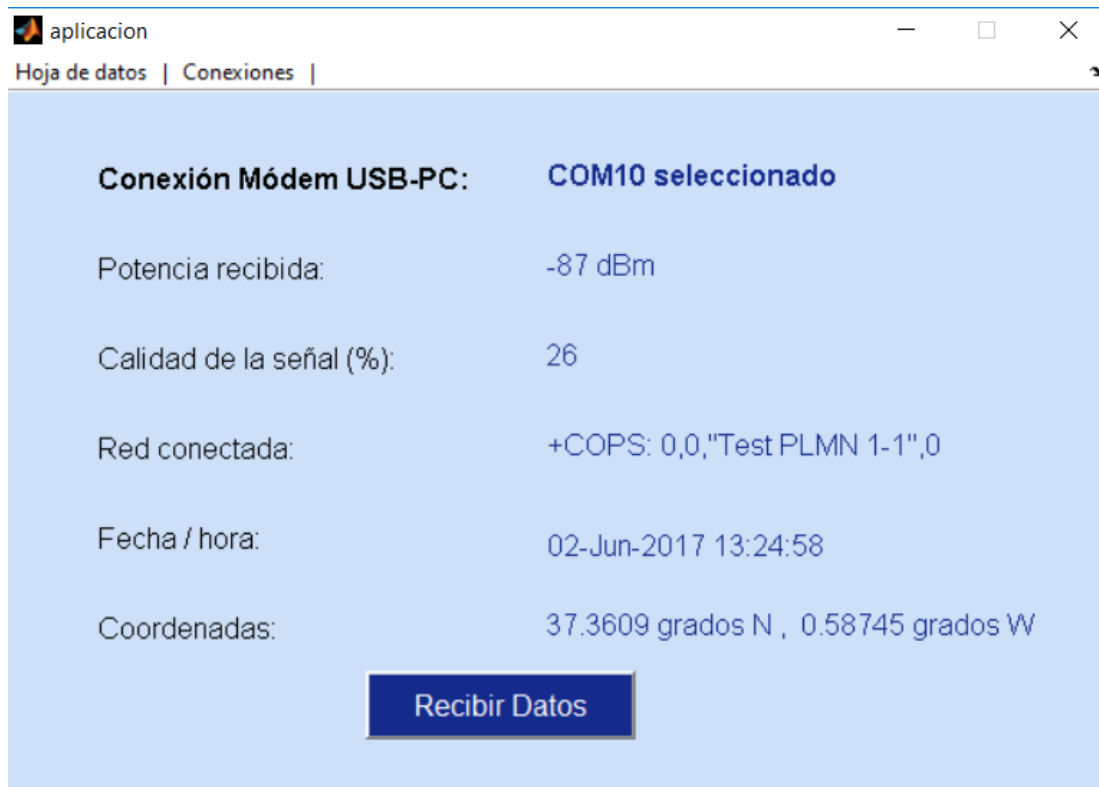


Ilustración 82.Posición H.

7.2.2 Gráfica Calidad señal recibida (%) / Potencia de salida del R&S CMW500

Veamos en la siguiente tabla los datos nuevos obtenidos con una potencia de salida del R&S CMW500 de -50 dBm, y comparémoslos con el caso anterior, donde dicha potencia era máxima , es decir , -27 dBm.

Posición	Potencia salida del R&S CMW500 : -27 dBm		Potencia salida del R&S CMW500 : -50 dBm	
	Potencia recibida (dBm)	Calidad señal recibida (%)	Potencia recibida (dBm)	Calidad señal recibida (%)
A	-51	98	-61	78
C	-57	86	-73	54
E	-65	70	-77	46
F	-65	70	-85	30
G	-69	62	-89	22
H	-73	54	-87	26

Tabla 8.Comparación de datos obtenidos variando la Pot.salida del R&S CMW500

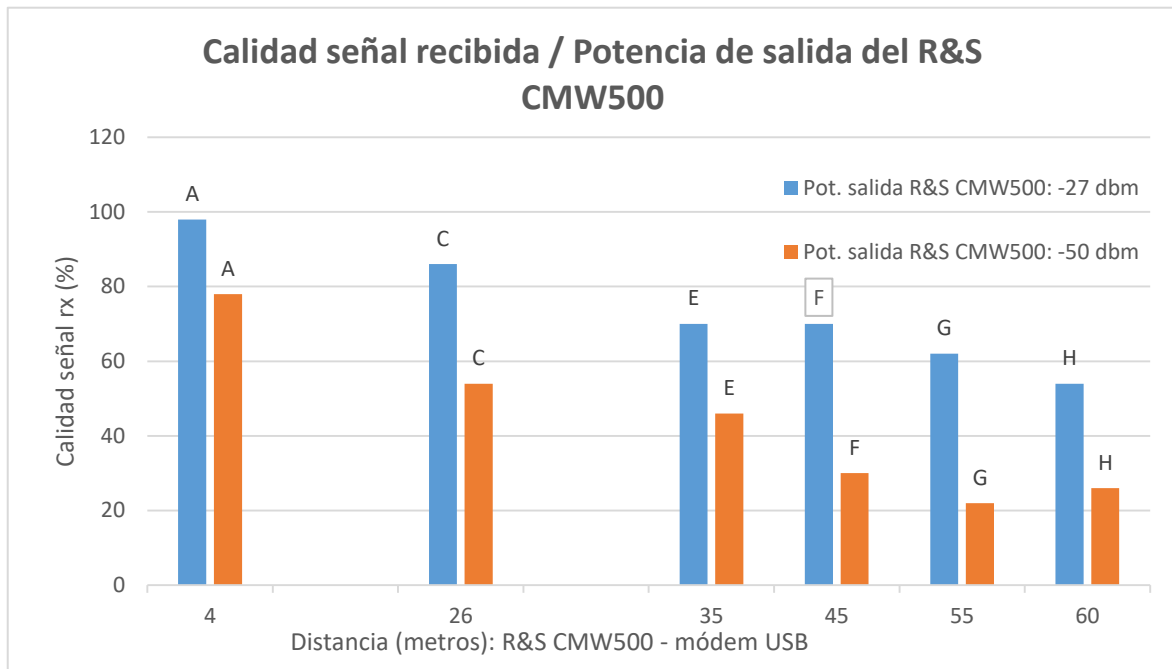


Ilustración 83. Gráfica calidad señal recibida (%) / Potencia de salida del R&S CMW500.

De igual manera que en el apartado anterior, observamos cómo la calidad de la señal recibida (%), disminuye con la distancia, aunque como también dijimos, no proporcionalmente, debido a algunos factores que influyen como son el rebote de la señal en las paredes, etc.

En esta nueva gráfica, hacemos una comparación de la calidad de la señal recibida (%) por el módem USB en cada posición, variando la potencia de salida de la señal que transmite la estación base (R&S CMW500).

8. Conclusiones

8.1 Conclusiones

Según las pruebas realizadas en el patio de la universidad, pudimos comprobar que la calidad de la señal recibida (%), y a su vez, la potencia recibida por el módem USB, era menor a medida que nos alejábamos de la antena transmisora del R&S CMW500, y también, a medida que la potencia de salida del R&S CMW500 era menor. Si la potencia de salida del R&S CMW500 era mínima, el módem USB no detectaba la red GSM creada por nosotros, y aparecía un “Limited Service”, recibiendo señales posiblemente de otros terminales que se encontraran a nuestro alrededor (Ilustración 84).

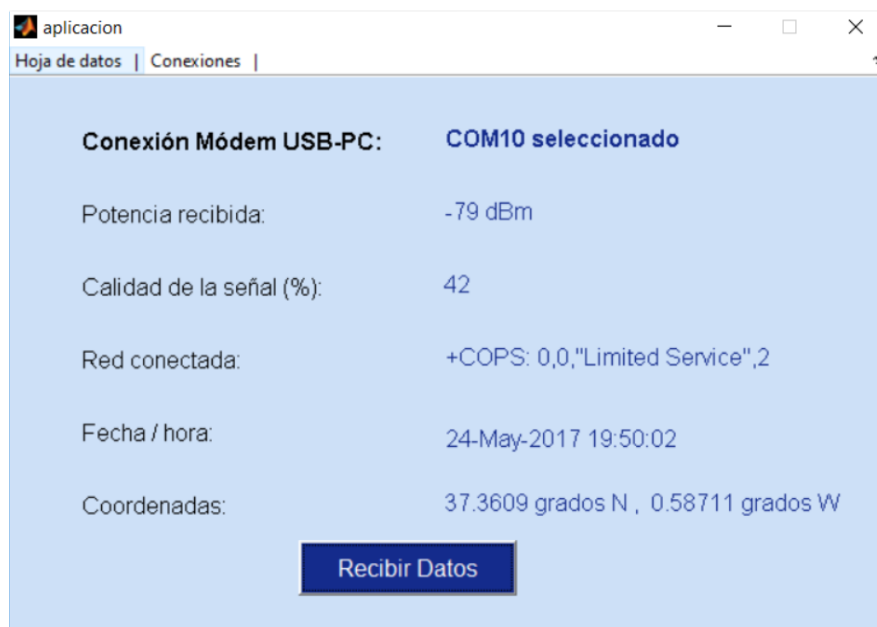


Ilustración 84. "Limited Service" debido a un valor muy bajo asignado para la potencia de salida del R&S CMW500.

La forma de obtener estos parámetros principales era:

- Potencia recibida : RSSI en dBm
- Calidad señal recibida en % : $2 * (\text{RSSI en dBm} + 100)$

En cualquier caso, el RSSI indica intensidad recibida, no calidad de señal, ya que esta última se determina contrastando la intensidad de la señal respecto de la relación señal/ruido.

El RSSI como hemos visto en el capítulo 6, es un valor lineal, y con una tabla facilitada por el fabricante, obtenemos el valor equivalente a la potencia recibida en dBm .



El otro dato que nos habría gustado medir y no pudimos es:

- Señal a Ruido SNR: potencia (dBm) - ruido (dBm)

El ruido (dBm) no pudimos obtenerlo con comandos AT directamente del módem USB ni hacer ninguna conversión como en el caso del RSSI.

Podíamos interpretar este ruido como el BER (tasa de error binario), pero al escribir el comando AT+CSQ, siempre obteníamos un BER de 99 (desconocido o no detectable).

En el patio fue imposible conectarnos a una red privada WCDMA (UMTS), es decir, el módem USB no conseguía detectar esa red creada por el R&S CMW500. Sin embargo, con GSM fue inmediato. Es por eso que decidimos tomar todas las medidas y hacer un estudio de ellas únicamente con GSM900. Sin embargo, en el laboratorio, el módem USB sí detectaba la red UMTS, como hemos visto en el capítulo 5 tras su configuración. Es posible que en el patio hubiera interferencias con otros sistemas al utilizar UMTS, y fuera la principal causa de este problema.

Otro detalle importante fue el poder comprobar que solo se podía conectar un único terminal a la red GSM creada por el R&S CMW500.

En cuanto al uso de los comandos AT para este tipo de proyecto, era lo más evidente y lógico, ya que extraíamos directamente datos del módem USB para leerlos en el PC . Sin embargo, a la hora de trabajar con ellos en Matlab y almacenarlos en variables, comprobamos que la comunicación módem USB-PC, resultaba poco eficiente. Al pulsar sobre el botón “Recibir Datos” de la interfaz gráfica, comprobamos que no recibíamos los datos inmediatamente, sino que tardaba unos segundos en mostrarse en la pantalla.

La búsqueda de aquellos comandos AT necesarios y útiles para nuestra aplicación, así como su interpretación a la hora de programar en Matlab, fue un trabajo duro que llevó gran parte del desarrollo de este proyecto.

8.2 Líneas futuras

Para optimizar el sistema también se debería contemplar la opción de implementar la comunicación módem USB- PC portátil, y hacer un estudio de los datos recibidos, sobre los estándares GSM 1800, UMTS , LTE.



En cuanto a una posible mejora del software de control que hemos desarrollado, podría ser, sustituir el botón manual “Recibir Datos” por un temporizador ,para así recibir datos automáticamente, cada cierto tiempo.

Referencias

[1] Pascual García, J., Molina García-Pardo, J.M., Juan Llácer, L., Sistemas de Comunicaciones Móviles, Universidad Politécnica de Cartagena, 2010.

[2]<http://jpgarcia.cl/2008/09/>

[3]http://155.210.158.52/docencia_it/RedesAccesoCelular/teoria/Tema%202_Sistema%20GSM.pdf

[4] “Implementación de un sistema de radiocomunicaciones para la transmisión de la telemetría de una moto de carreras”, Septiembre 2014, María Belén Pérez Muñoz.

[5]http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11880/fichero/DOCUMENTO+5_CAPITULO+2.pdf

[6] España Boquera, M. C., Servicios avanzados de telecomunicación, España, 2003.

[7]<http://cecilia-urbina.blogspot.com.es/2012/02/gsm.html>

[8]<http://lib.convdocs.org/docs/index-129542.html?page=2>

[9]<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11983/fichero/Cap%EDtulo+2+-+LTE.pdf>

[10]<http://dc439.4shared.com/doc/wgXnxQS2/preview.html>

[11]<http://seguristar.wordpress.com/prototipo/estado-del-arte/>

[12]https://www.rohde-schwarz.com/es/producto/cmw500-pagina-de-inicio-producto_63493-10341.html

[13] R&S CMW500 Wideband Radio Communication Tester RF production testing, At a glance.



[14] R&S CMW500 Wideband Radio Communication Tester, CMW GSM UserManual V3-2-10.

[15]<http://www.microwavejournal.com/articles/15826-cmw500-wideband-radio-communicationtester>

[16] “Desarrollo de una herramienta informática para la gestión y control de un sistema de medidas del canal de radiocomunicaciones compuesto por un analizador de espectro y un GPS”, Josefa Gómez Pérez

[17]http://www.andinismogea.cl/documentos/manuel_etrexvista.pdf

[18]<http://www.nvtl.com/products/mobile-broadband-solutions/usb-devices/ovation-mc950d-and-mc930d-72-usb-modems-hsdpsupa-networks/>

[19]<https://www.clasf.es/q/modem-usb-movistar/>

[20]<https://www.amazon.com/Rohde-Schwarz-CMW-Z04/dp/B00ECECJ6I>

[21]https://staticgeektopia.com/storage/geek/posts/2015/09/23/direccional_omnidireccional_geek.jpg

[22]<http://m2msupport.net/m2msupport/atcsq-signal-quality/>

[23]http://www.etsi.org/deliver/etsi_en/300900_300999/300911/06.05.00_40/en_300911v060500o.pdf

[24] Google Maps

Anexo

A.1 Metodología para generar una señal y célula móvil

Veamos cómo crear una celda móvil con el equipo R&S CMW500 para dar cobertura a nuestro dispositivo móvil.

- Paso 1: Se revisa que la antena esté correctamente conectada al conector de RF que vayamos a configurar como puerto de salida.
- 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, y hacemos click sobre el cuadro correspondiente a una de estas tecnologías: GSM, LTE, UMTS (WCDMA FDD UE), WIMAX o WLAN . (Signaling).
- 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 en el paso 4.
- 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.



A.2 Comandos AT soportados por el módem USB (AT+CLAC)

- +CSPN: Get Service Provider Name from SIM, error
- +FCLASS: Set mode to data or voice or fax
- +ICF: DTE-to-DCE Character Framing
- +IFC: Set Local Data Flow Control
- +IPR: Set Terminal Equipment Rate
- +GMI: Returns the manufacturer name , Novatel Wireless Incorporated
- +GMM: Request model identification, Ovation MC950D Card
- +GMR: Request revision identification, 3.9.07.0-00 [2007-12-04 18:03:51]
- +GCAP: Request modem capabilities list.
- +GSN: Request International Mobile Equipment Identity (IMEI) , 356846013119512
- +DR: V.42bis Data Compression Reporting
- +DS: V.42bis Data Compression Control
- +WS46: Select Wireless Network
- +PACSP
- +CBST: selects the bearer service of the data call
- +CRLP: Radio Link Protocol
- +CV120: V.120 rate adaption protocol
- +CHSN: HSCSD non-transparent call configuration
- +CSSN: Supplementary service notifications
- +CREG: Network registration
- +CGREG: GPRS network registration status
- +CFUN: Set phone functionality
- +CSCS: Select TE character set
- +CSTA: Select type of address
- +CR
- +CEER: Extended error report



- +CRC: Cellular result codes
- +CMEE: Report Mobile Equipment error
- +CGDCONT: Define PDP Context
- +CGDSCONT: Define secondary PDP context
- +CGTFT
- +CGEQREQ: Quality of service profile
- +CGEQMIN: 3G quality of service (minimum acceptable)
- +CGQREQ: Quality of Service Profile (Requested)
- +CGQMIN: Quality of Service Profile (Minimum acceptable)
- +CGEREP: GPRS event reporting
- +CGPADDR: Show PDP Address(es)
- +CGDATA: Enter data state
- +CGCLASS: GPRS mobile station class
- +CGSMS: Select service for MO SMS | M2MSupport.net
- +CSMS: Select message service
- +CMGF: Set SMS Text Mode or SMS PDU Mode
- +CSCA: Setting or Reading the Service Center Address / SMSC Address
- +CSMP
- +CSDH: Show text mode parameters.
- +CSCB: selects which types of cell broadcast messages are to be received
- +ES
- +ESA
- +CMOD: call mode
- +CVHU: voice Hangup Control
- +CSQ: get the signal quality
- +CBC: Battery charge
- +CPAS: returns of the module device status
- +CPIN: Enter pin



- +CMEC: Mobile Equipment control mode
- +CGATT: GPRS attach or detach
- +CGACT: PDP context activate or deactivate
- +CGCMOD: PDP context modify
- +CPBS: Select Phone Book Memory Storage
- +CPBR: Read Phone Book Entry
- +CPBF: Find Phone Book Entries
- +CPBW: Write Phone Book Entry
- +CPMS: select the message storage areas for SMS reading,
- +CNMI
- +CMGL: List Received Messages in Text Mode
- +CMGR: Read Message
- +CMGS: Send SMS Command in Text Mode
- +CMSS
- +CMGW: Write message to memory
- +CMGD: delete a Received Message
- +CMGC: send command
- +CNMA
- +CMMS: More messages to send
- +CHUP: Hangup Call
- +CCFC: Call forwarding number and conditions
- +CCUG: Closed user group
- +COPS: PLMN selection
- +CLCK: Facility lock
- +CPWD: Change password
- +CUSD: Unstructured supplementary service data
- +CAOC: Advice of charge
- +CACM: Accumulated call meter



- +CMM
- +CPUC
- +CCWA: Call waiting
- +CHLD
- +CIMI: Request international mobile subscriber identity
- +CGMI: Request manufacturer identification
- +CGMM: Request Model Identification
- +CGMR: Request revision identification
- +CGSN: Request product serial number identification
- +CNUM: Subscriber Number
- +CSIM: Generic SIM access
- +CRSM: Restricted SIM access
- +CCLK: clock
- +CLCC: List current calls
- +COPN: Read operator names
- +CPOL: Preferred PLMN list
- +CPLS: Selection of preferred PLMN list
- +CTZR: Time zone reporting
- +CTZU: Automatic time zone update
- +CLAC: List all available AT commands
- +CLIP: Calling line identification presentation
- +COLP: Connected line identification presentation
- +CDIP: Called line identification presentation
- +CTFR
- +CLIR: Calling line identification restriction