
7 Pruebas de funcionamiento

Durante el desarrollo de este proyecto se realizaron diversas pruebas con los equipos descritos en capítulos anteriores, con objeto de comprobar su funcionamiento y contrastar los estudios teóricos de los enlaces con las pruebas reales de campo.

Estas pruebas se realizaron en la Cañada Real Soriana a su paso por la localidad extremeña de Segura de León, entorno libre de interferencias radioeléctricas y localidad natal del autor de este proyecto.

7.1 Red de pruebas

La red de pruebas estaba formada por dos nodos; uno fijo que hacía las funciones del *Nodo principal*, y otro móvil que hacía de *Nodo periférico*.

El *Nodo principal* se ubicó en la terraza de una vivienda situada en el núcleo urbano de Segura de León, al sur de la provincia de Badajoz, que presenta unas vistas excepcionales a la dehesa y a la Cañada Real Soriana.

Este nodo, al igual que el que se instalará en Isla Decepción, estaba equipado con un router inalámbrico Senao / Engenius NET-EL-NOC-3220EXT conectado a una antena omnidireccional Stella Doradus SD 24 3360. Se completó el equipamiento del *Nodo principal* con otro router inalámbrico con módem ADSL integrado, un SMC Barricade, conectado a la red telefónica y situado a unos 10 metros del punto de acceso, y con un ordenador personal conectado a dicho router-ADSL.

Se configuraron ambos routers para que utilizasen el protocolo WDS, con el objeto de permitir el acceso desde los equipos del *Nodo periférico* al ordenador personal del *Nodo principal*, y además, propagar la conexión a internet del router-ADSL por la red de pruebas. Para ello, ambos compartieron el mismo SSID y una clave WEP de 128 bits.

El router-ADSL se configuró para trabajar en modo 802.11b+g, mientras que la configuración del router Senao / Engenius se fue modificando durante las pruebas.

Para recrear el esquema de direcciones definido en la Tabla 5.7 y evitar conflictos entre los equipos, se le asignó al router-ADSL la dirección IP 192.168.0.1 y su servidor DHCP sólo ofreció direcciones entre la 192.168.0.2 y la 192.168.0.9, mientras que al router Senao / Engenius se le asignó la dirección IP 192.168.0.10 y ofreció las direcciones entre la 192.168.0.200 y la 192.168.0.254.

El *Nodo periférico*, estaba formado por un servidor de puerto serie inalámbrico Moxa NPort W2150 y por un ordenador portátil con adaptador inalámbrico USB WiFi-Safe. Al disponer de una única antena parabólica Stella Doradus SD27, estos equipos se utilizaron de forma alternativa, nunca los dos simultáneamente.

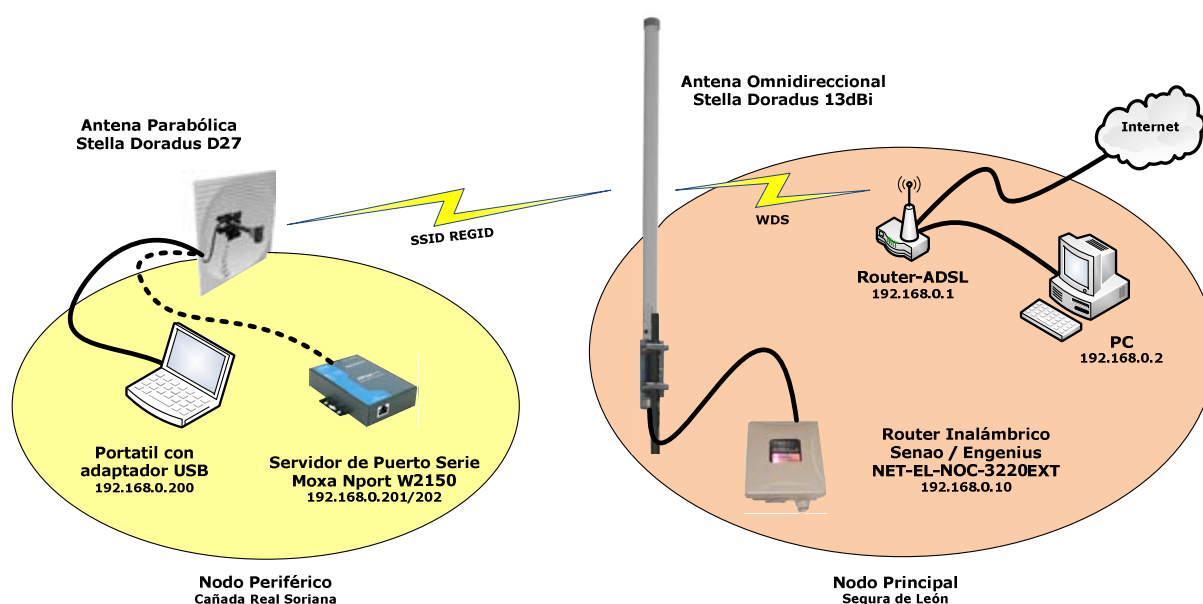


Figura 7.1: Esquema de la red de pruebas

7.2 Pruebas realizadas

El objetivo de las primeras pruebas realizadas fue comprobar la cobertura ofrecida por el *Nodo principal* y localizar las ubicaciones más propicias para desarrollar una batería de pruebas.

Debido a la orografía del terreno y para evitar pérdidas adicionales debidas a la vegetación, los únicos puntos accesibles para la ubicación del *Nodo repetidor* se encuentran a lo largo de la Cañada Real Soriana.

Se estableció un primer punto de pruebas en el entorno cercano de Segura de León, en el llamado *Puerto de la Cruz*, situado a unos 2 Km. del *Nodo principal*, con el objetivo de comprobar el correcto funcionamiento de los equipos de comunicaciones.

Partiendo de ese punto, se realizaron pruebas en otros puntos de la Cañada Real Soriana aumentando la distancia al *Nodo principal* con el objeto de localizar el punto más alejado desde el cual sea posible establecer la comunicación, hallándose este a unos 7 Km., en el paraje denominado *Matamoros*, dado que a partir de este lugar no existe visibilidad directa desde la Cañada Real Soriana hacia Segura de León.



Figura 7.2: Pruebas realizadas en la Cañada Real Soriana

Para estos dos puntos extremos se realizaron pruebas bajo dos configuraciones distintas del *Nodo principal*: en modo 11b y en modo 11b+g, con objeto de establecer la idoneidad de la utilización de uno u otro modo.

La batería de pruebas consistió en la realización de cuatro mediciones con el adaptador inalámbrico del ordenador portátil: intensidad de señal recibida y comprobación de la posibilidad de asociarse al punto de acceso, velocidad nominal de la asociación, tiempo de ida y vuelta (RTT²) y velocidad real de transmisión de datos; así como el establecimiento de la comunicación entre el ordenador personal del *Nodo principal* y un equipo GPS conectado al servidor de puerto serie en el *Nodo periférico*.

Para realizar las mediciones de la intensidad de la señal se utilizó la aplicación de software libre Network Stumbler, que muestra gráficamente el nivel detectado en el adaptador inalámbrico en todo instante, calculando el valor máximo y mínimo recibido. Con esta prueba se comprueban las diferencias con el cálculo teórico del balance de potencia, a la vez que permite orientar la antena de manera óptima para las siguientes pruebas.

Una vez orientada la antena, se verificó que el ordenador portátil podía asociarse al *Nodo principal*, introduciendo previamente las claves WEP requeridas, y el sistema operativo indicó la velocidad nominal de la asociación. Esta prueba muestra la calidad del enlace, desde el punto de vista del sistema operativo.

Par el cálculo del RTT se utilizó el comando del sistema operativo *ping*, que realiza el envío consecutivo de una serie de paquetes IP al equipo indicado y muestra el tiempo que tarda en obtener la respuesta del otro extremo de la comunicación. Con este parámetro se comprueba la estabilidad del radioenlace y la posible pérdida de datos durante la comunicación.

Para medir la velocidad real de transmisión, se realizaron transferencias de ficheros entre el ordenador personal del *Nodo principal* y el ordenador portátil del *Nodo periférico*, y se midieron las velocidades de transferencia con el programa TrafMeter. Con esta última prueba, se comprueba como se comporta realmente el enlace a la hora de realizar una transferencia de datos.

² Round Trip Time

7.3 Resultados de las pruebas

7.3.1 Prueba 1: Puerto de la Cruz

En la primera prueba se quería comprobar el correcto funcionamiento del sistema a una distancia relativamente corta, por lo que se ubicó el *Nodo periférico* en el *Puerto de la Cruz* a unos 2 Km. al Noreste de Segura de León.



Figura 7.3: Ortofotografía del enlace con Puerto de la Cruz

En este punto, con la tarjeta inalámbrica interna del portátil, es decir, sin necesidad de antena externa, se detectó de forma intermitente la señal del *Nodo principal*; pero resultaba ser demasiado débil para establecer una asociación, por lo que las pruebas se realizaron con el adaptador USB conectado a la antena parabólica.

- **Nivel de Señal**

A continuación se muestran las gráficas obtenidas por el programa Network Stumbler de la medición del nivel de señal detectado por el adaptador inalámbrico en este punto, una vez orientada la antena de forma que se obtuviera el mayor nivel posible. En la parte superior se encuentra la gráfica obtenida con el *Nodo principal* configurado para trabajar en modo 802.11b+g y en la parte inferior para el modo 802.11b.

Se puede comprobar que en ambos casos el nivel máximo de señal se sitúa en los -66 dBm, siendo el nivel medio de señal algo superior y más estable para el modo 802.11b+g que para el modo 802.11b.

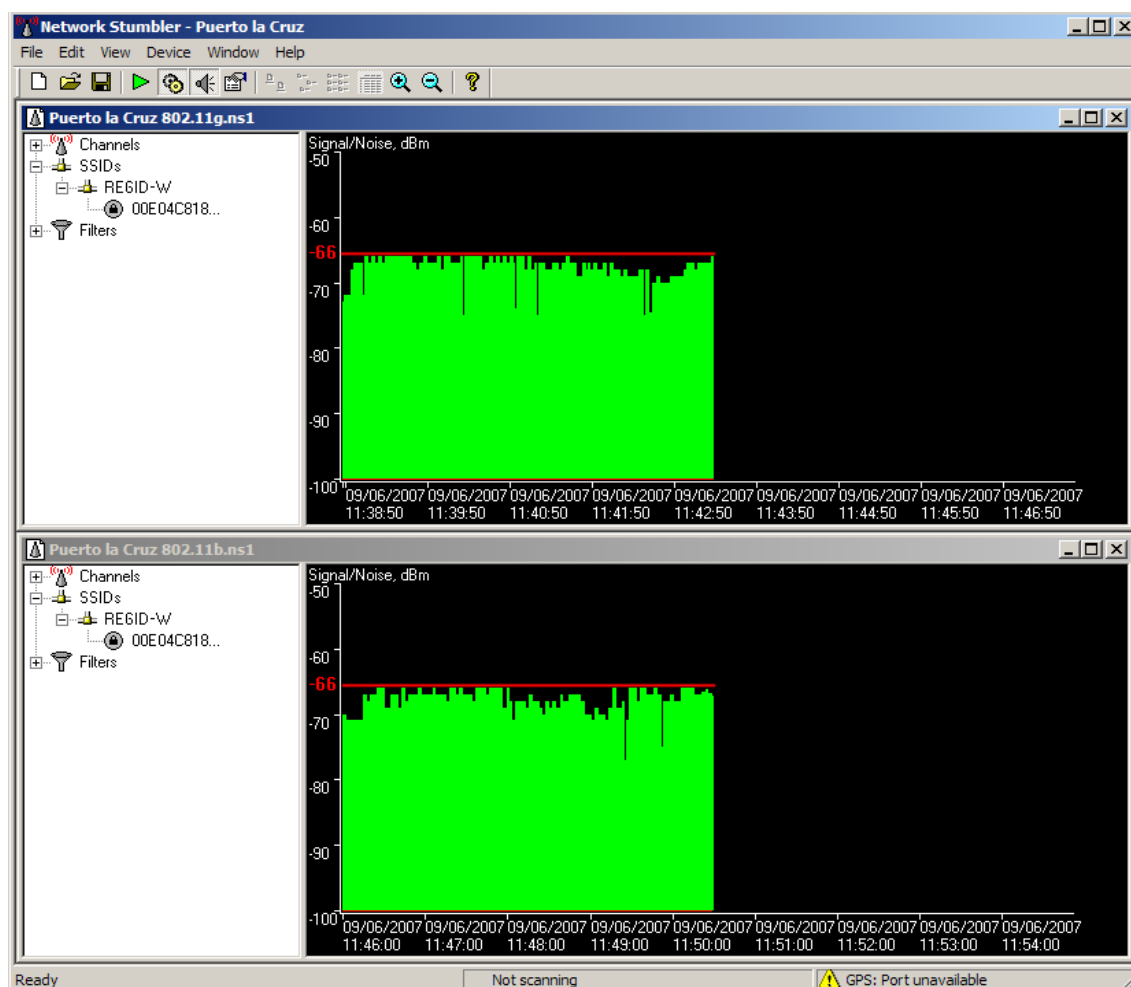


Figura 7.4: Gráfica de nivel de señal de Network Stumbler en Puerto de la Cruz

El cálculo teórico del balance de potencia para este enlace indica que para una potencia de transmisión de 24 dBm, con una antena transmisora de 13 dBi y una antena receptora de 24 dBi, a una distancia de 2 Km. (lo que introduce unas pérdidas de 106 dBm), debería recibirse una señal de -45 dBm, a la que habría que añadirle las pérdidas por cableado y conectores.

Esto demuestra que los cálculos teóricos de los radioenlaces sólo sirven como estimación, y que es necesario considerar un margen de unos 20 dB sobre los resultados teóricos.

Por otro lado, el fabricante del adaptador inalámbrico USB no facilita los datos radioeléctricos de potencia de transmisión ni sensibilidad de recepción, por lo que no se puede conocer el margen real con el que se estaba trabajando.

• *Velocidad nominal de la asociación*

Tanto en para modo 802.11b+g como para el modo 802.11b, el sistema operativo detectó rápidamente la red y al intentar asociarse solicitó la clave WEP. Una vez introducida esta, la red completó la asociación y asignó una dirección IP vía DHCP al ordenador portátil.

Al comprobar el estado de la conexión, se observó que, con el *Nodo principal* trabajando en modo 802.11b la velocidad nominal era de 11 Mbps, el máximo posible para este estándar, y el nivel de intensidad de señal para el sistema operativo se situó en *Bueno*. Estos valores permanecieron constantes a lo largo de toda la prueba.

Cuando se configuró el *Nodo principal* para que trabajara en modo 802.11b+g, el nivel de intensidad de señal se situó en el valor *Bueno*, sin embargo, la velocidad nominal, que en un primer instante apareció con el valor máximo de 54 Mbps que permite este estándar, fue bajando progresivamente hasta situarse en los 24 Mbps. Estos valores sufrieron diversas fluctuaciones, en las que la velocidad llegó a descender hasta los 11 Mbps y el nivel de señal se situó en el valor *Bajo*.

Se comprueba así que, a pesar de que el nivel de señal recibido es mayor en el modo 802.11b+g, el enlace resulta más inestable con este estándar, mostrando un rendimiento menor respecto el máximo teórico y produciéndose pérdidas de conexión intermitentes.

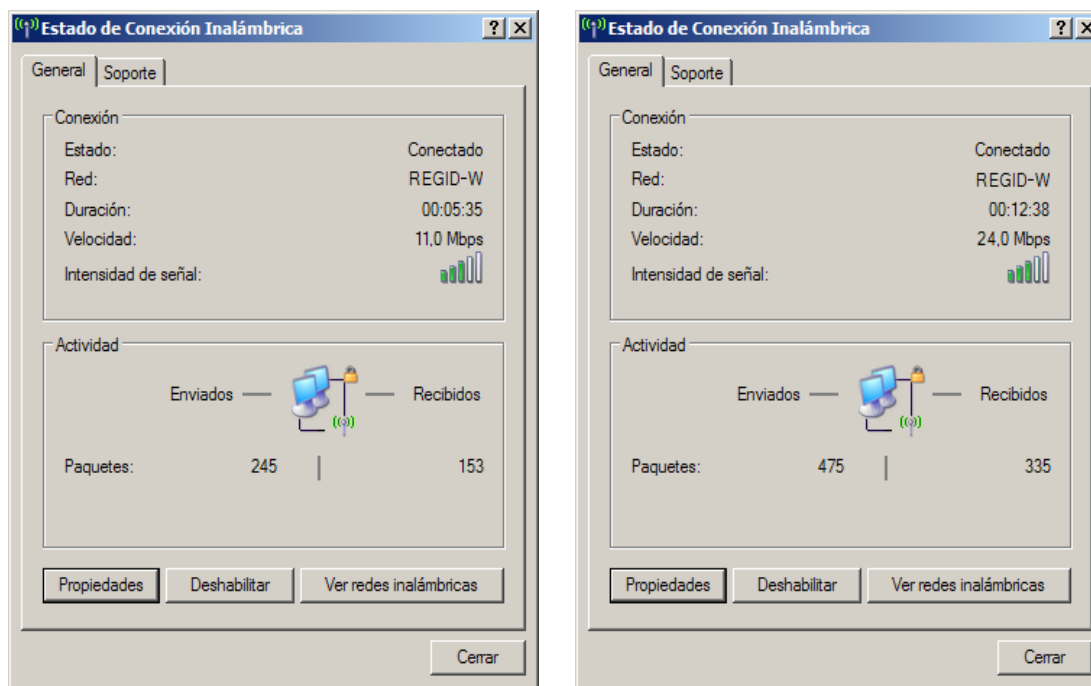


Figura 7.5: Estado de la Conexión Inalámbrica en Puerto de la Cruz

• Round Trip Time

Una vez establecida la comunicación, se llevó a cabo una prueba para comprobar la estabilidad del enlace, realizando una petición ping al router Senao / Engenius del *Nodo principal* de 25 paquetes, repitiéndola para cada modo de funcionamiento, cuyos resultados se recogen en la siguiente tabla.

Modo	Paquetes perdidos	RTT		
		Mínimo	Máximo	Medio
802.11b	0 (0%)	2 ms	5 ms	2 ms
802.11g	3 (12%)	5 ms	7 ms	5 ms

Tabla 7.1: Resultados del ping en Puerto de la Cruz

Como era de esperar, se comprueba de nuevo que la estabilidad del enlace en modo 802.11b es superior a la del modo 802.11b+g, recorriendo el trayecto radioeléctrico en la mitad de tiempo y sin perder ningún paquete durante la prueba.

- **Velocidad de transferencia**

Se finalizaron estas pruebas con la medición de la velocidad de transferencia en el enlace. Para cada modo de funcionamiento del *Nodo principal*, se realizaron tres descargas de ficheros desde el ordenador personal al ordenador portátil, cada uno de ellos de aproximadamente 5 MB.

A continuación se muestran las gráficas obtenidas por el programa TrafMeter de la velocidad de transmisión en el adaptador inalámbrico.

Para el modo 802.11g se obtuvieron velocidades punta de hasta 190 KBps, pero con muchas fluctuaciones, por lo que las velocidades medias para cada archivo finalmente se situaron entre 165 KBps y 180 KBps. Como se observa en el gráfico, durante la transferencia del tercer archivo el enlace se volvió inestable, llegando a interrumpirse en algunos instantes la comunicación.

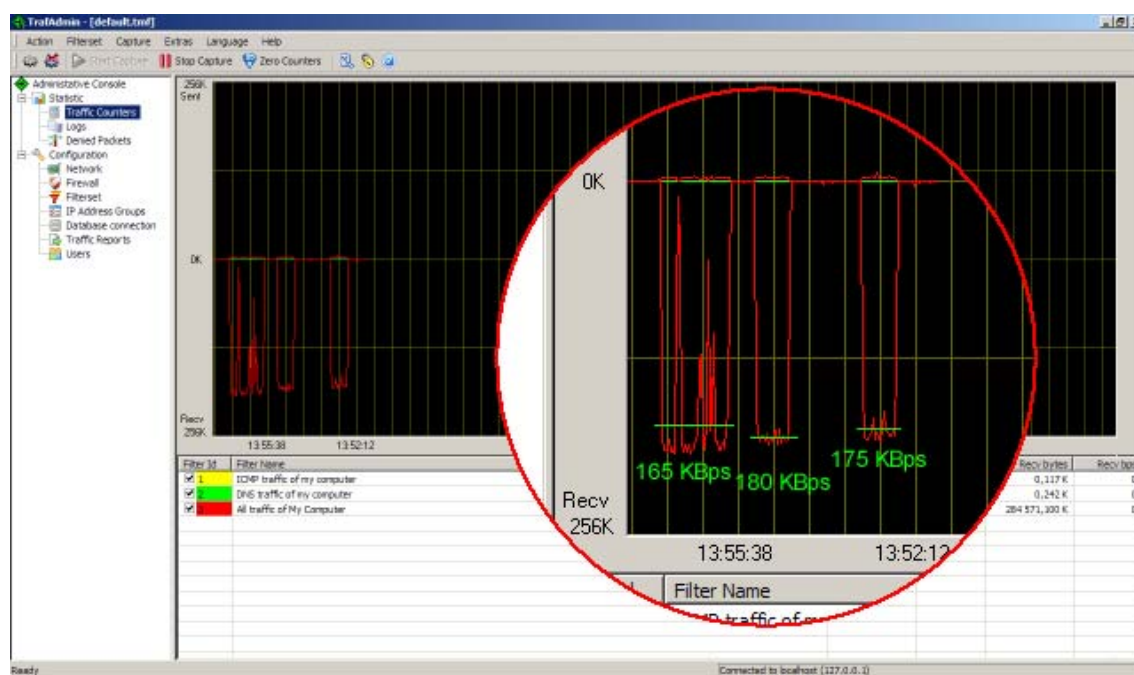


Figura 7.6: Velocidad de Transferencia en modo 802.11b+g en Puerto de la Cruz

En el modo 802.11b, que en teoría debería ser mas lento que el 802.11b+g, se obtuvieron mejores resultados, alcanzándose velocidades de hasta 225 Kbps, y situándose las medias de transferencia en 180 Kbps y 205 Kbps.

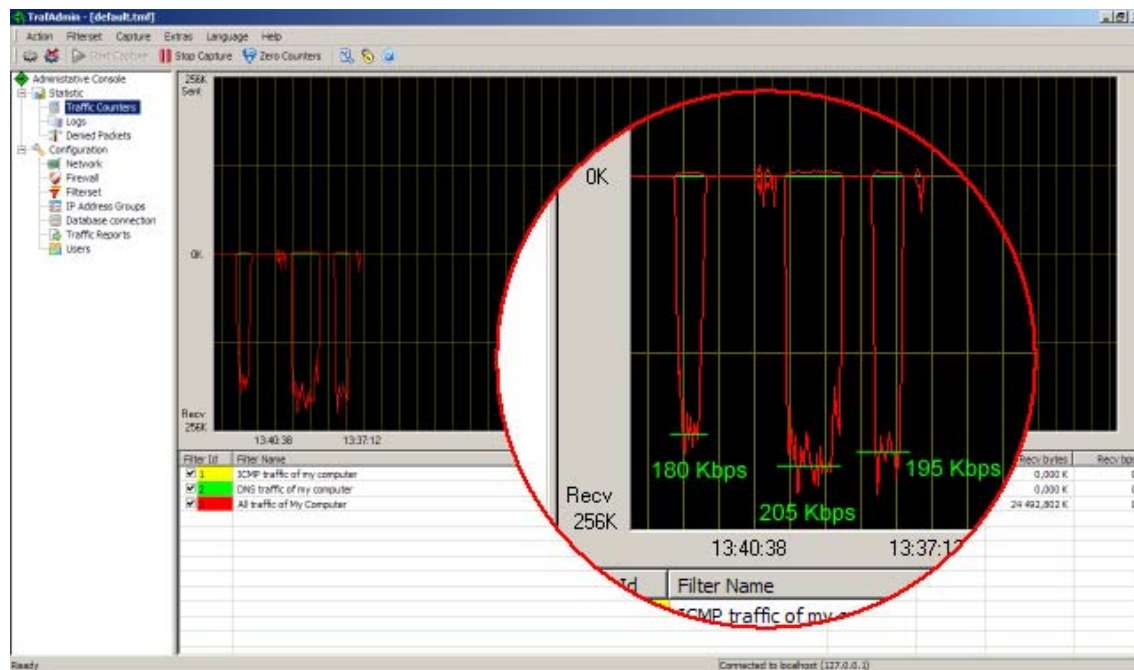


Figura 7.7: Velocidad de Transferencia en modo 802.11b en Puerto de la Cruz

- *Conexión con el servidor de puerto serie*

Tras la finalización de las pruebas con el ordenador portátil, se conectó un el equipo GPS Leica GX1320 al servidor de puerto serie Moxa NPort W2150 y éste a la antena parabólica. Tanto para los modos 802.11b como 802.11b+g, el nivel de señal detectado en el servidor de puerto serie fue *Bueno*, y la conexión a la red inalámbrica se estableció inmediatamente.

Desde el ordenador personal del *Nodo principal* se detectó la presencia del servidor de puerto serie en la red y se realizaron las configuraciones necesarias para establecer una comunicación serial con el equipo GPS a través del HyperTerminal de Windows.

Tras un breve periodo de sincronización, se comenzaron a recibir los mensaje NMEA transmitidos por el equipo GPS sin errores ni pérdidas de sincronización en todo el tiempo que duró la prueba.

7.3.2 Prueba 2: Matamoros

Para la segunda prueba se buscó el punto más alejado posible, para comprobar el alcance máximo del enlace. Se realizaron mediciones de intensidad de señal en diversos puntos de la Cañada Real Soriana hasta llegar al punto más alejado con visión directa al *Nodo Principal*, el paraje llamado *Matamoros*, a unos 7,4 Km. al Noreste de Segura de León.

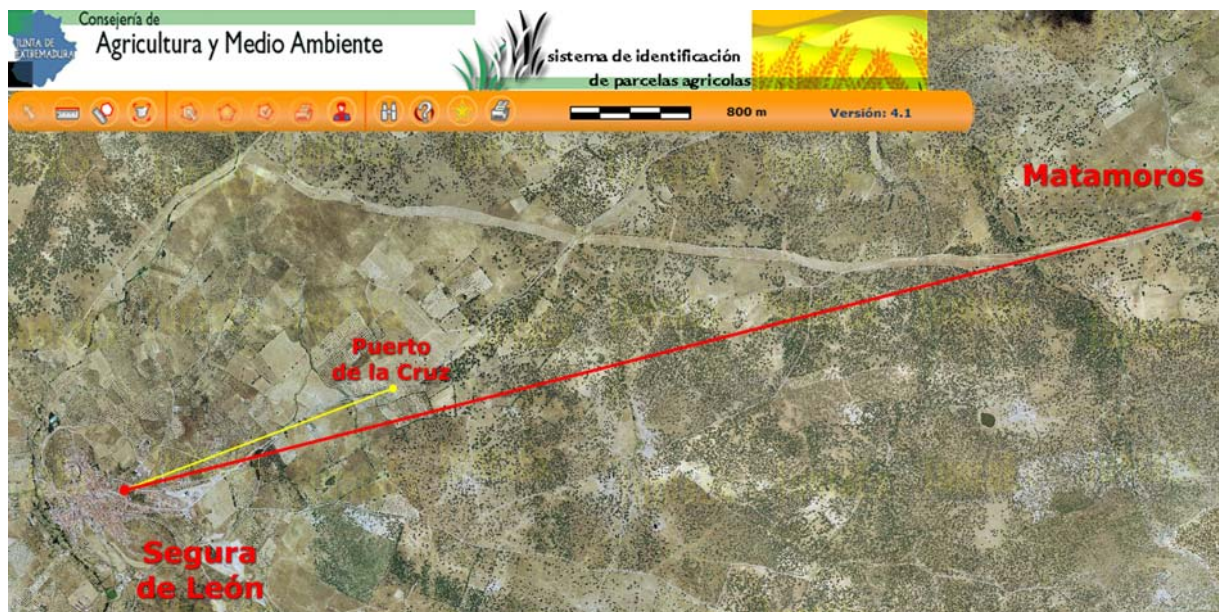


Figura 7.8: Ortofotografía del enlace con Matamoros



Figura 7.9: Pruebas realizadas en Matamoros, con Segura de León al fondo

• Nivel de Señal

A continuación se muestran las gráficas obtenidas por el programa Network Stumbler de la medición del nivel de señal detectado por el adaptador inalámbrico en este punto, una vez orientada la antena de forma que se obtuviera el mayor nivel posible. En la parte superior se encuentra la gráfica obtenida con el *Nodo principal* configurado para trabajar en modo 802.11b+g y en la parte inferior para el modo 802.11b.

Para el modo 802.11b se puede comprobar que el nivel de señal recibido ha descendido casi 10 dB, pero continúa siendo igual de estable, o incluso más, que en la prueba anterior. Sin embargo, para el modo de funcionamiento 802.11b+g, la señal se ha atenuado casi 15 dB, presentando frecuentes y pronunciados descensos en el nivel recibido, llegando incluso a desaparecer la señal en algunos casos.

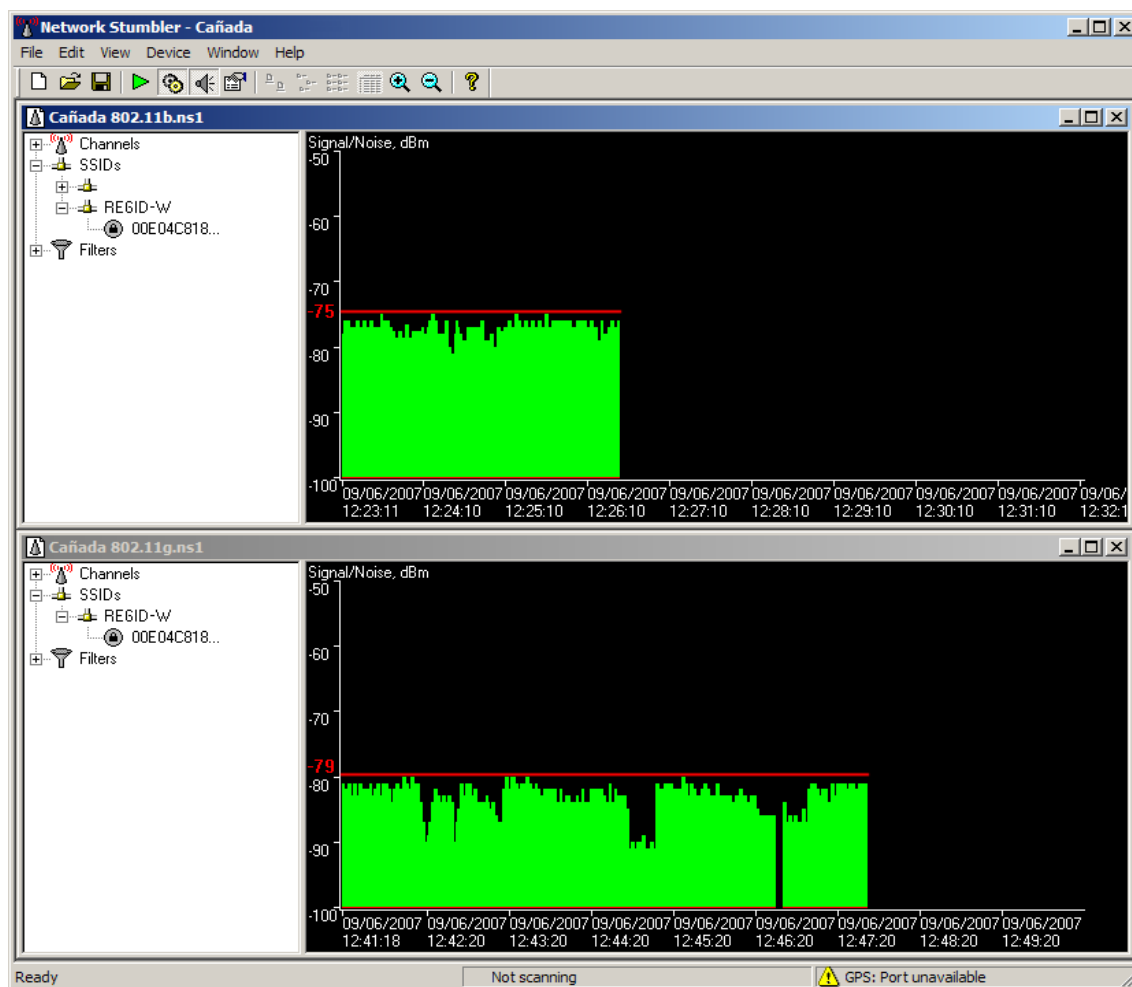


Figura 7.10: Gráfica de nivel de señal de Network Stumbler en Matamoros

Para una potencia de transmisión de 24 dBm, con una antena transmisora de 13 dBi y una antena receptora de 24 dBi, a una distancia de 7,4 Km., lo que introduce unas pérdidas de 117 dBm, debería recibirse una señal de -56 dBm, a la que habría que restarle las pérdidas por cableado y conectores.

Se comprueba ahora que la diferencia entre el valor teórico esperado y el obtenido en la medición se mantiene constante con respecto a la prueba anterior cuando el *Nodo principal* trabaja en 802.11b, sin embargo esta diferencia aumenta casi 5 dB para el modo 802.11b+g.

- ***Velocidad nominal de la asociación***

Para modo 802.11b, el sistema operativo detecta rápidamente la red y al intentar asociarse solicita la clave WEP, sin embargo, para el modo 802.11b+g la red a veces no es detectada y al intentar asociarse tarda en solicitar la clave WEP.

Una vez introducida la clave WEP, trabajando en modo 802.11b la red completa la asociación y asigna una dirección IP vía DHCP al ordenador portátil, sin embargo en modo 802.11b+g la asignación automática no concluye, teniendo que configurar manualmente las direcciones IP para establecer la comunicación.

Al comprobar el estado de la conexión, se observó que con el *Nodo principal* trabajando en modo 802.11b la velocidad nominal continuaba siendo de 11 Mbps y el nivel de intensidad de señal para el sistema operativo se situó en *Bajo*. Estos valores permanecieron constantes a lo largo de toda la prueba.

Cuando se configuró el *Nodo principal* para que trabajara en modo 802.11b+g, el nivel de intensidad de señal se situó en el valor *Muy bajo*, y la velocidad nominal, que en un primer instante apareció con el valor de 18 Mbps, descendió hasta los 5,5 Mbps, aunque sufrió diversas fluctuaciones, en las que la velocidad llegó a descender hasta 1 Mbps, el mínimo definido para ese estándar.

Tras los problemas obtenidos para establecer la conexión, puede asegurarse que para largas distancias el estándar IEEE 802.11g es ampliamente superado por el IEEE 802.11b.

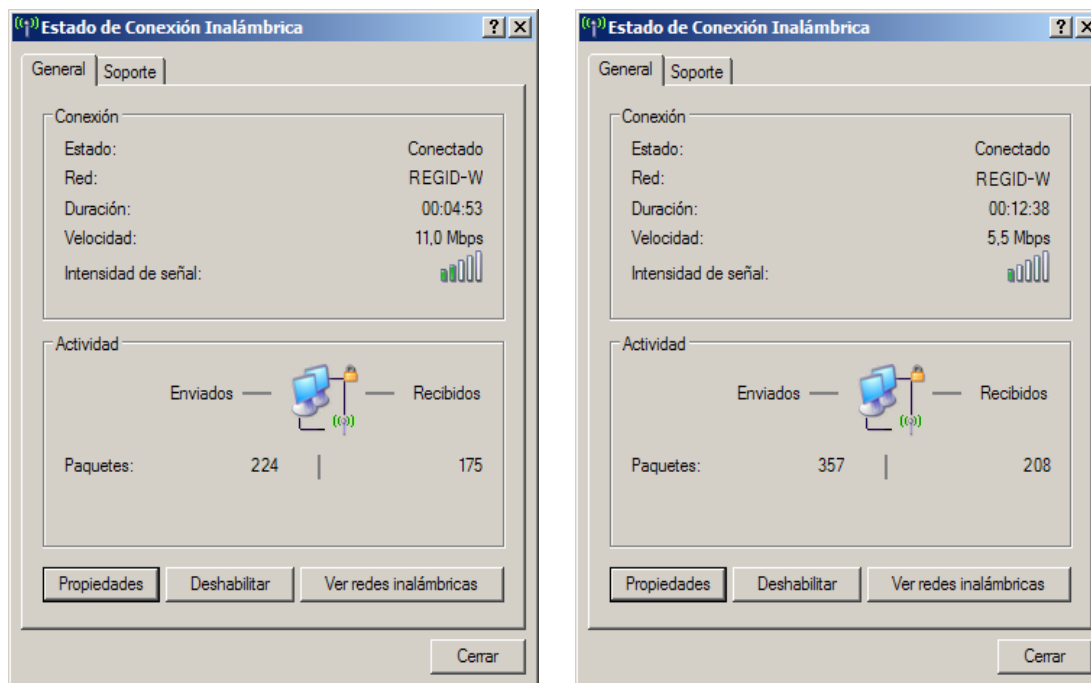


Figura 7.11: Estado de la Conexión Inalámbrica en Matamoros

• Round Trip Time

Una vez establecida la comunicación, se llevó a cabo la prueba de estabilidad del enlace, realizando una petición ping al router Senao / Engenius del *Nodo principal* de 25 paquetes para cada modo de funcionamiento.

Modo	Paquetes perdidos	RTT		
		Mínimo	Máximo	Medio
802.11b	1 (4 %)	2 ms	9 ms	3 ms
802.11g	10 (40 %)	5 ms	22 ms	8 ms

Tabla 7.2: Resultados del ping en Puerto de la Cruz

El valor del RTT es muy elevado para en el modo 802.11b+g, lo que provoca la pérdida de paquetes por ráfagas. Se probaron distintas configuraciones de los tiempos de espera del router inalámbrico del *Nodo principal* pero los resultados obtenidos fueron similares en todos los casos.

• *Velocidad de transferencia*

Se finalizaron las pruebas con la medición de la velocidad de transferencia en el enlace. Para cada modo de funcionamiento del *Nodo principal*, se realizaron tres descargas de ficheros desde el ordenador personal al ordenador portátil, cada uno de ellos aproximadamente 5 MB.

A continuación se muestran las gráficas obtenidas por el programa TrafMeter de la velocidad de transmisión en el adaptador inalámbrico.

Para el modo 802.11b se obtienen velocidades punta de hasta 130 KBps, pero la inestabilidad del enlace provoca que las velocidades medias para cada archivo sean de 115 KBps y 120 KBps. Como se observa en el gráfico, se producen muchas variaciones en la velocidad de transferencia, provocando pequeñas interrupciones en la transmisión.

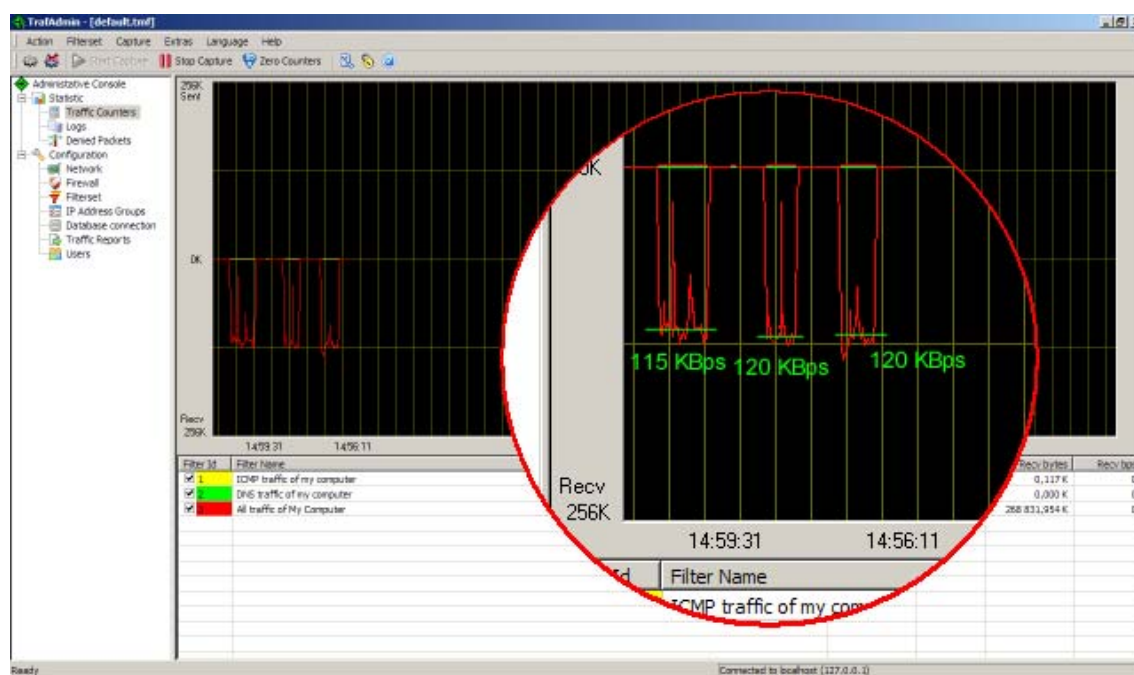


Figura 7.12: Velocidad de Transferencia en modo 802.11b+g en Matamoros

En el modo 802.11b, al igual que ocurriera en la prueba desde *Puerto de la Cruz*, se obtiene un mejor rendimiento del enlace, alcanzándose velocidades de hasta 155 KBps, y situándose las medias de transferencia en 140 KBps, 145 KBps y 150 KBps.

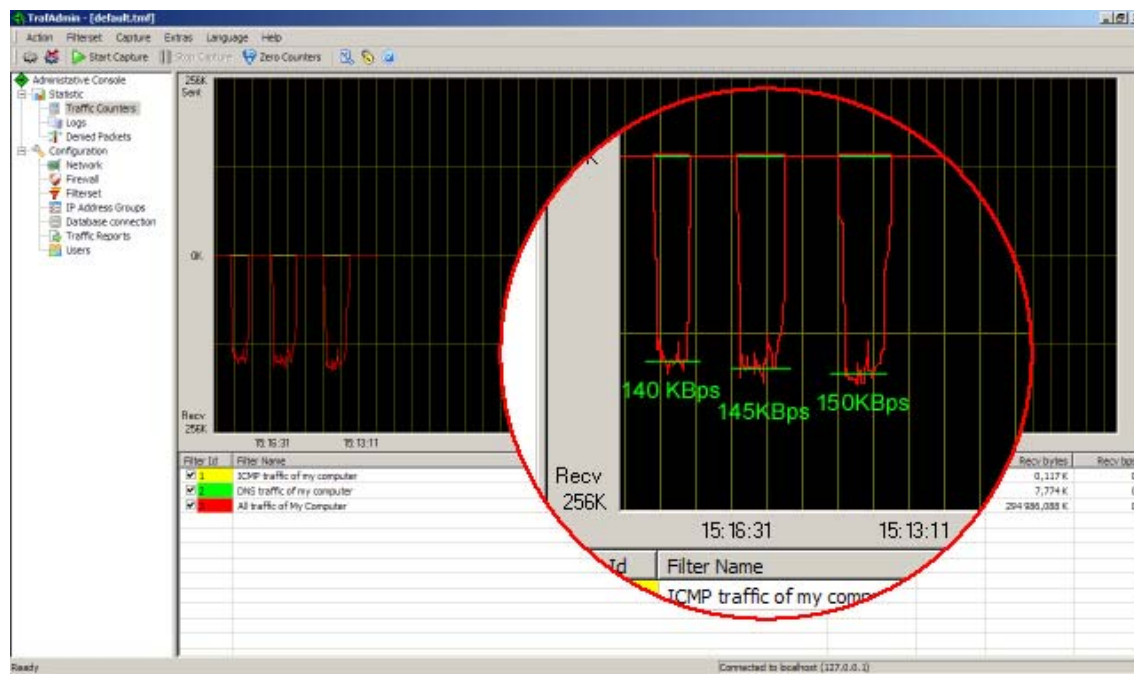


Figura 7.13: Velocidad de Transferencia en modo 802.11b en Matamoros

- **Conexión con el servidor de puerto serie**

Tras la finalización de las pruebas con el ordenador portátil, se conectó un el equipo GPS Leica GX1320 al servidor de puerto serie y éste a la antena parabólica.

La prueba solo se realizó para el modo 802.11b, donde el nivel de señal detectado en el servidor de puerto serie fue *Bajo*, aunque la conexión a la red inalámbrica se estableció inmediatamente.

Desde el ordenador personal del *Nodo principal* se detectó la presencia del servidor de puerto serie en la red y se realizaron las configuraciones necesarias para establecer una comunicación serial con el equipo GPS a través del HyperTerminal de Windows, que al igual que ocurriera en la prueba realizada desde *Puerto de la Cruz*, se comenzaron a recibir los mensaje NMEA transmitidos por el equipo GPS sin errores ni pérdidas de sincronización en todo el tiempo que duró la prueba.