

CAPÍTULO 9.

PRUEBAS Y CONCLUSIONES.

En este capítulo se presentan las pruebas realizadas para verificar el correcto funcionamiento de la red. Inicialmente se pensó en realizarlas directamente sobre la zona de pruebas propuesta en el Canal del Bajo Guadalquivir (en torno a la Oficina), pero puesto que el acceso al mismo dependía de terceros, se han realizado las pruebas fuera del Canal. Las pruebas en el Canal se han dejado pendientes para realizar en el futuro.

9.1. Prueba en los laboratorios de la ESI.

En esta prueba realizada en los laboratorios se comprobó el correcto funcionamiento de la red a corta distancia y se verificó la calidad de radioenlaces LOS y NLOS a una distancia considerable en entorno urbano con muchos obstáculos que hacían del entorno ciertamente desfavorable.



Figura 9.1: Parte de la red situada sobre los laboratorios de la ESI.

Parte de la red se situó sobre la azotea de los laboratorios de la ESI, con el objetivo de verificar que el encaminamiento era correcto (figura 9.1) y el nodo '0000' se situó en dos puntos lejanos (figura 9.2), uno a 700 m aproximadamente del 0043 y del 0044 con visibilidad (LOS) y otro a 1.2 km, aproximadamente, sin visibilidad (NLOS) con el fin de verificar la calidad real de los radioenlaces.

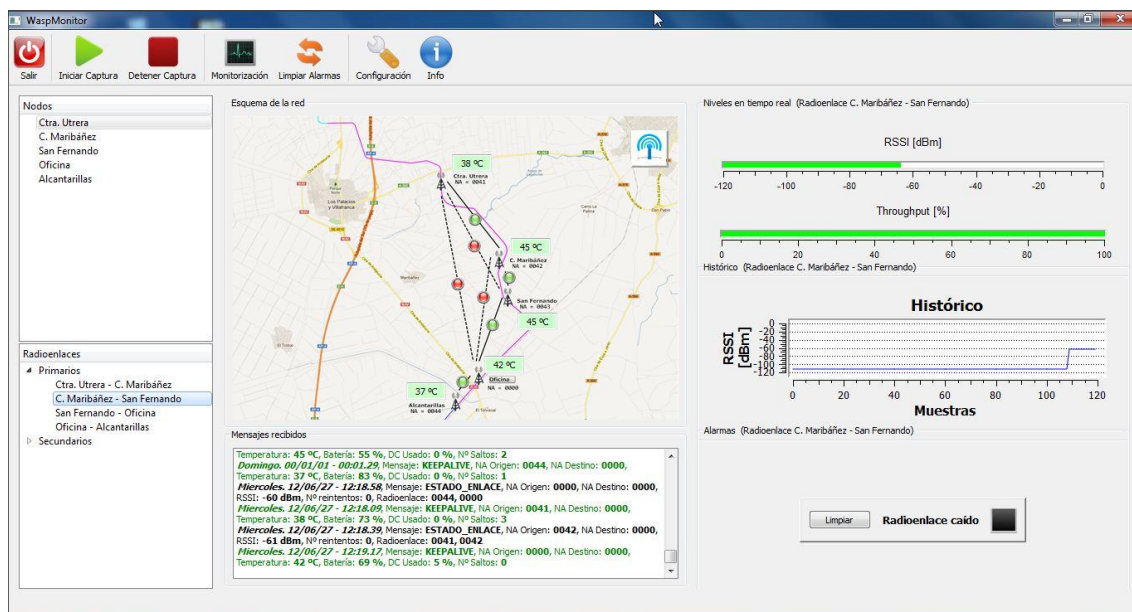


Figura 9.3: Captura de Waspmonitor con las pruebas de encaminamiento.

En ambos casos (caída de nodos y reactivación) se realizó de manera satisfactoria, garantizando la ruta óptima. Para las pruebas se programó un intervalo de 2 minutos entre envíos de Keepalives de tipo Link, para ver los cambios en la topología en un tiempo menor (en lugar de los 5 minutos descritos en el Capítulo 6).

En la figura 9.3. se puede ver una captura de Waspmonitor en la que se observa cómo el encaminamiento a través de los radioenlaces primarios se realiza correctamente (nótese que todos los iconos de LED están en verde) y se reciben las medidas de temperatura tomadas en los diferentes nodos.

Un problema que se descubrió es que al situar los nodos muy cercanos, saturaban los xBee. Esto producía la “desaparición” de mensajes desde algunos de los nodos, posiblemente por saturación de los buffers de recepción de los xBee al producirse retransmisiones continuas. Este problema desapareció al situar los nodos a una distancia considerable.

Respecto al duty cycle consumido, el punto crítico es el nodo de la Oficina, ya que es nodo que reenvía más mensajes. Viendo el log de la primera prueba en la que todos los nodos estaban sobre la azotea de los laboratorios se obtuvo que en 16 minutos se había consumido un 6% del duty cycle máximo permitido en 1 hora. Por tanto, suponiendo un aumento del gasto del duty cycle lineal ya que los mensajes se envían de manera periódica y constante, en una hora el consumo de duty cycle sería del 22,5%.

Si en lugar de los 5 nodos que emiten, suponemos que emite toda la red (22 nodos, sin contar el nodo de la Oficina, ya que este en la práctica no enviaría medidas, sólo reenviaría al Gateway), tendríamos un duty cycle usado del 99% en una hora. No obstante, aquí se están incluyendo las medidas de Estado de Enlace, lo que duplica prácticamente el número de

mensajes, que en la realidad se podrían eliminar ya que sólo interesarían medidas periódicas (los Keepalives de tipo Node) y quizás las alarmas (aunque también se podrían omitir).

Por tanto, se puede observar que el duty cycle es una limitación bastante grande de esta tecnología, ya que como se explicó en el apartado 4.2.4. si se llega al límite, los xBee limitan la transmisión y no se puede evitar incluso si se incluyen secuencias de reseteo, ya que la limitación viene impuesta por la temperatura, que es detectada por el mismo dispositivo.

Respecto a las pruebas de alcance, como se dijo anteriormente, tras haber probado la funcionalidad de la red sobre la azotea, se procedió a separar a una cierta distancia el nodo 0000 en dos enlaces, uno LOS y otro NLOS, en zona urbana para ver si era posible la comunicación.



Figura 9.4: Nodo 0043 y vista desde la antena.



Figura 9.5: Nodo 0044 y vista desde la antena.

En las figuras 9.4 y 9.5 se pueden ver los nodos 0043 (San Fernando) y 0044 (Alcantarillas) situados en unos mástiles sobre la azotea de los laboratorios de la ESI. Nótese

que aunque existe visibilidad con el punto 0000 LOS (ver figura 9.2.), existen obstrucciones grandes como la autovía SE-30, que obstruye el primer elipsoide de Fresnel claramente, la gran cantidad de árboles, los postes, etc. El punto 0000 NLOS no se ve ya que está obstruido por unas carpas (figura 9.6).



Figura 9.6: Vista desde el nodo 0000 NLOS.

Las medidas obtenidas en las pruebas de campo en los enlaces LOS se muestran en la figuras 9.7. y 9.9. Los valores para dichos enlaces son parecidos y en torno a -80 dBm. El throughput obtenido es del 100%. No se reenvían tramas.

En las figuras 9.8. y 9.10. se pueden ver los resultados teóricos obtenidos con Radio Mobile, suponiendo que las antenas de los nodos 0043 y 0044 están a una altura de 12 metros y del nodo 0000 LOS a 2 m. Los datos obtenidos con Radio Mobile son mucho mejores que los obtenidos teóricamente, ya que están en torno a -60 dBm, es decir, 20 dBm por encima de los que dan los xBee en las medidas de campo. Esta diferencia se debe principalmente a que como se ve en las figuras 9.9 y 9.10, el clutter urbano no está incluido y por ejemplo, la autovía que cruza el radioenlace no aparece en el mapa de elevaciones. Si incluimos el link margin de 15 dBm, la medida se parece más. Por otra parte, los valores que dan los xBee, aparentemente son menores que los que se están midiendo en la realidad, ya que por ejemplo, durante las pruebas aparecieron valores por debajo de la sensibilidad del receptor, y se recibían paquetes sin ninguna pérdida, algo incoherente en teoría.

Igualmente, en las figuras 9.11. y 9.13. se muestran las medidas obtenidas en las pruebas de campo para los enlaces NLOS. Cabe destacar que las medidas de la RSSI en ambos radioenlaces caían por debajo del umbral del receptor, es decir, con valores menores que la sensibilidad (-112 dBm). Esto es algo teóricamente imposible, pero probablemente por imprecisión del xBee, se marcan estos valores aunque las tramas se estén recibiendo perfectamente. Los valores obtenidos eran de -118 dBm para el 0043 – 0000 NLOS y de -113 dBm para el 0044 – 0000 NLOS.

En las figuras 9.12. y 9.14. se pueden ver los resultados teóricos obtenidos con Radio Mobile para los mismos radioenlaces. Por lo explicado anteriormente, difieren

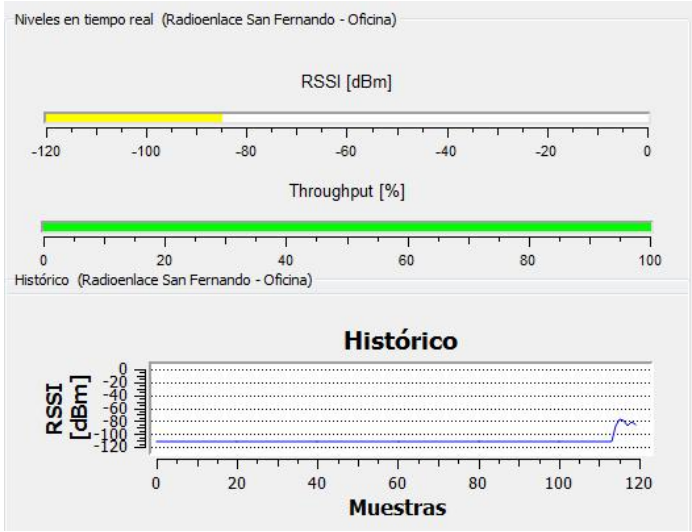


Figura 9.7: Enlace 0043 - 0000 LOS.

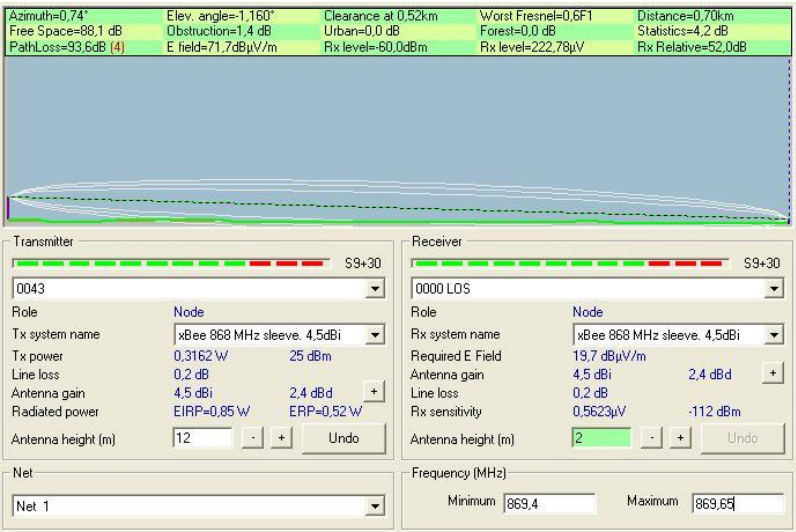


Figura 9.8: Enlace 0043 - 0000 LOS. Valores obtenidos con Radio Mobile.

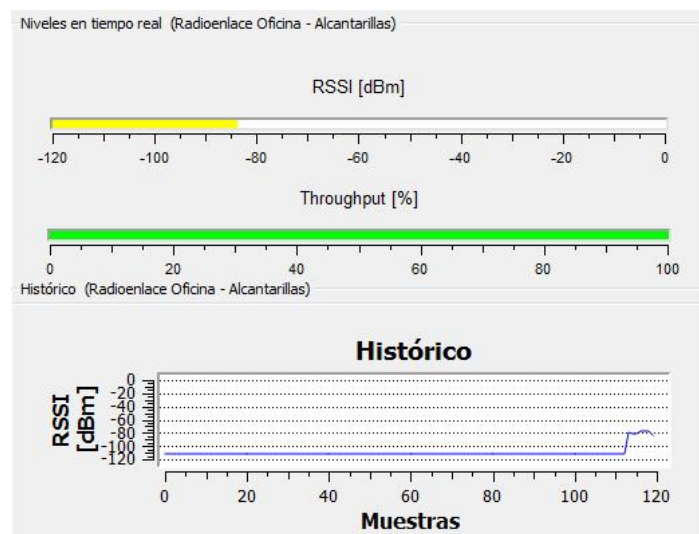


Figura 9.9: Enlace 0044 - 0000 LOS.

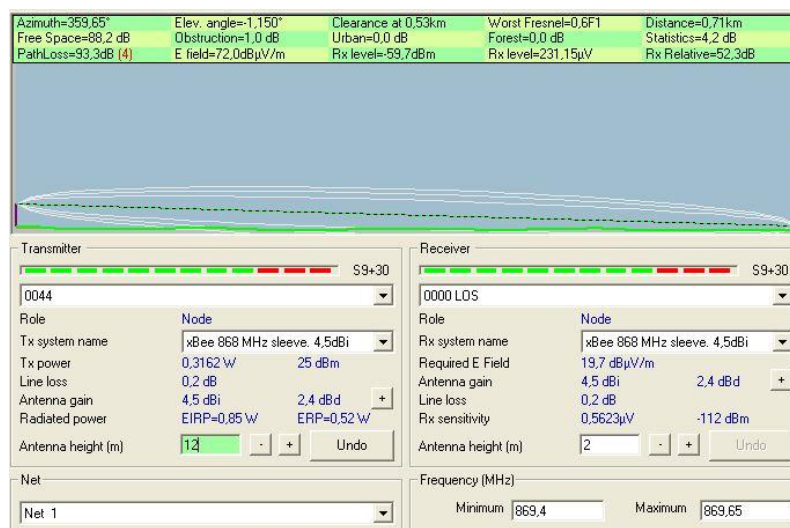


Figura 9.10: Enlace 0044 - 0000 LOS. Valores obtenidos con Radio Mobile.

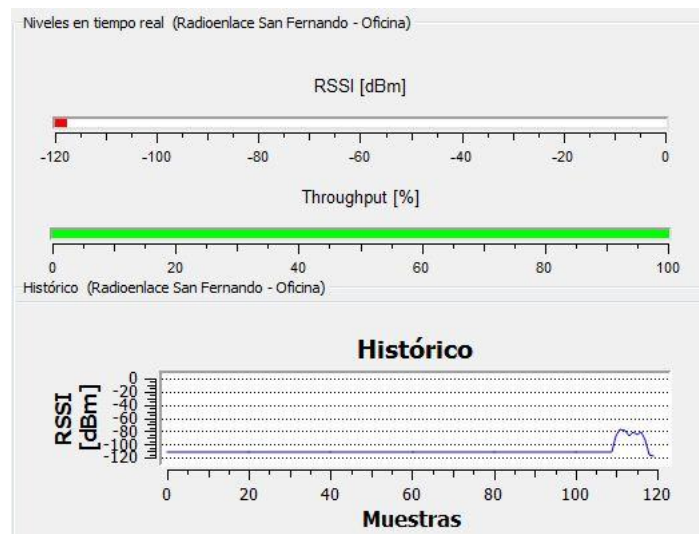


Figura 9.11: Enlace 0043 - 0000 NLOS.

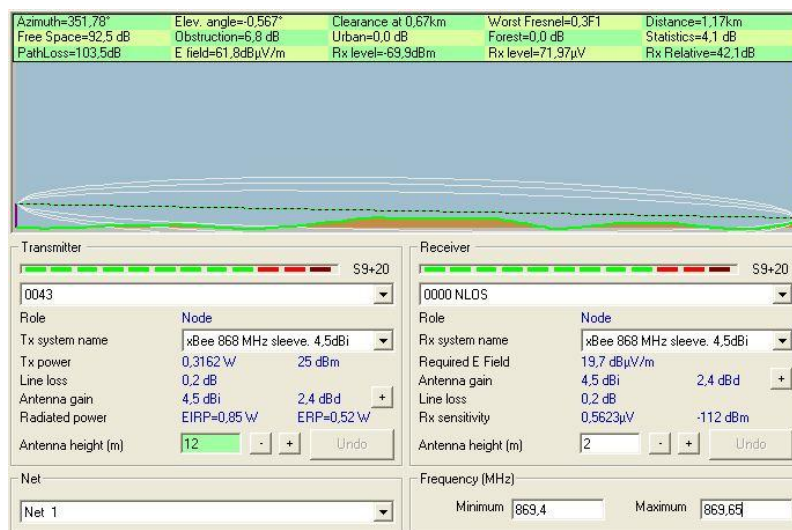


Figura 9.12: Enlace 0043 - 0000 NLOS. Valores obtenidos con Radio Mobile.

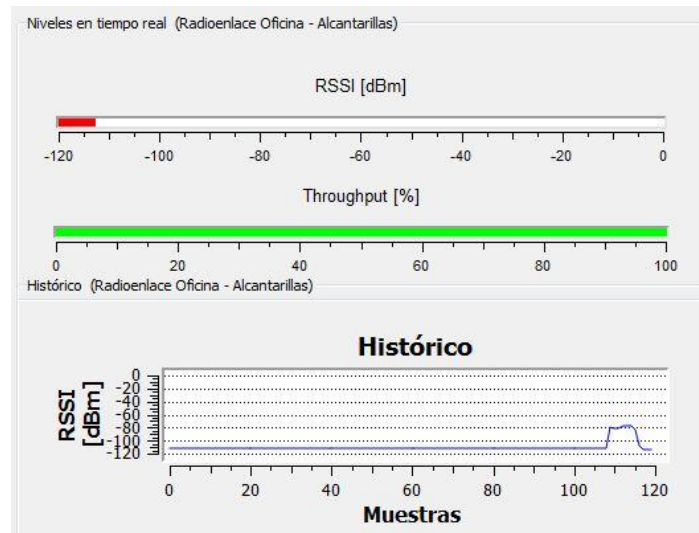


Figura 9.13: Enlace 0044 - 0000 NLOS.

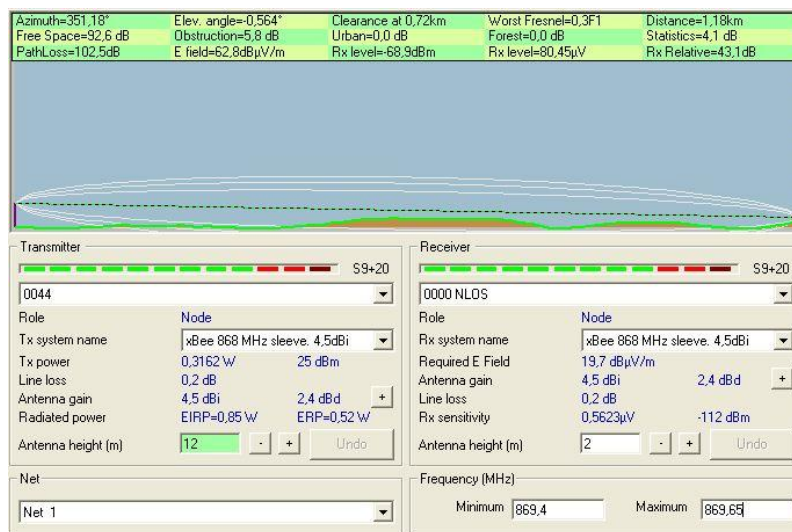


Figura 9.14: Enlace 0044 - 0000 NLOS. Valores obtenidos con Radio Mobile.

9.2. Conclusiones.

Tras realizar las pruebas de campo se obtienen las siguientes conclusiones:

- Es posible cumplir las necesidades de encaminamiento de la red con los Waspote 868 MHz, consiguiendo una red dinámica, que altere su topología frente a la red estática existente en la actualidad en el canal.
- Los cálculos de planificación difieren bastante de las medidas que se obtienen con los equipos ya que resultan ser más favorables en la teoría que en las medidas de campo. Sin embargo, en situaciones muy adversas, NLOS, zona llena de obstáculos, antena a baja altura (2 m), etc. se ha comprobado que la comunicación es posible. Por lo tanto es muy probable que en zonas rurales o con baja densidad urbana, como es el caso del Canal del Bajo Guadalquivir, la comunicación también sea posible y de mejor calidad.
- El duty cycle es una restricción determinante en los xBee 868, ya que, como se ha explicado a lo largo de esta memoria, aunque se resetee el dispositivo para engañar al micro para incumplir la restricción de transmisión del 10% del tiempo en una hora, si la temperatura supera un umbral, el xBee limitará la transmisión, lo que podría provocar que nodos intermedios descartasen paquetes al ver su buffer de recepción colapsado. Por ello es importante tener en cuenta que el período entre mensajes enviados no sea excesivamente pequeño.

Por tanto, como conclusión final podemos decir que tras realizar las pruebas se cumplen los objetivos propuestos tanto de funcionalidad de la red como de alcance de los radioenlaces (teniendo en cuenta las diferencias entre la planificación y las medidas en campo), con muy buenas expectativas para las pruebas futuras en el Canal.