

## **CAPÍTULO 5.**

### **ESTUDIO DE PLANIFICACIÓN DE LA RED.**

La distribución geográfica de las almenaras y caudalímetros, así como de la oficina central donde se procesan los datos impone una restricción a la hora de situar los nodos de la red. Otra restricción crucial es el coste de la red que se pretende desplegar. Para ello se debe buscar la minimización del número de terminales de red necesario (en principio el mínimo sería uno por cada almenara o caudalímetro).

Por tanto, el objetivo a cumplir en el diseño de la red consiste en tener un número mínimo de nodos, dispuestos en los sitios fijos donde se toman datos del canal, o sea, las almenaras y los caudalímetros.

Sin embargo, a la hora de desplegar una red haciendo uso del canal radioeléctrico nos encontramos con otras restricciones que vienen impuestas por el medio: la orografía del terreno, así como los accidentes geográficos, clutter, etc.

Para planificar la red teniendo en cuenta la orografía y clutter del terreno y hacer una estimación del número de nodos necesarios y de la potencia recibida en los mismos, se hará uso del software de planificación radioeléctrica Radio Mobile, como se verá a lo largo de este capítulo.

#### **5.1. Elección de la topología de red.**

A lo largo del canal, se toman datos en las almenaras y en los caudalímetros, que se envían vía radiofrecuencia a la oficina central. Por tanto, el flujo de datos siempre vendrá desde unos nodos finales hasta el nodo central.

En este apartado se mostrarán diversas imágenes en las que aparecerán, por simplicidad, sólo las almenaras y la oficina central, ya que el objetivo de éste es mostrar la idea general de la topología de la red, dejando los detalles para apartados sucesivos.

Como primera aproximación, se podría pensar en una topología en estrella, donde todos los Wasmotes transmitieran al nodo de la oficina. Es una estructura sencilla, en la que sólo se necesita un salto para la comunicación y no es necesario el direccionamiento ya que todos son enlaces punto a punto.

El problema de esta topología, es que no es implementable físicamente para todos los radioenlaces debido a la longitud de éstos.

Otra aproximación posible, consistiría en unir cada nodo con sus dos nodos adyacentes, creando una topología "lineal". De este modo, el nodo más cercano al central, conectaría con un salto, el siguiente con dos saltos y así sucesivamente, actuando cada nodo como emisor o repetidor.

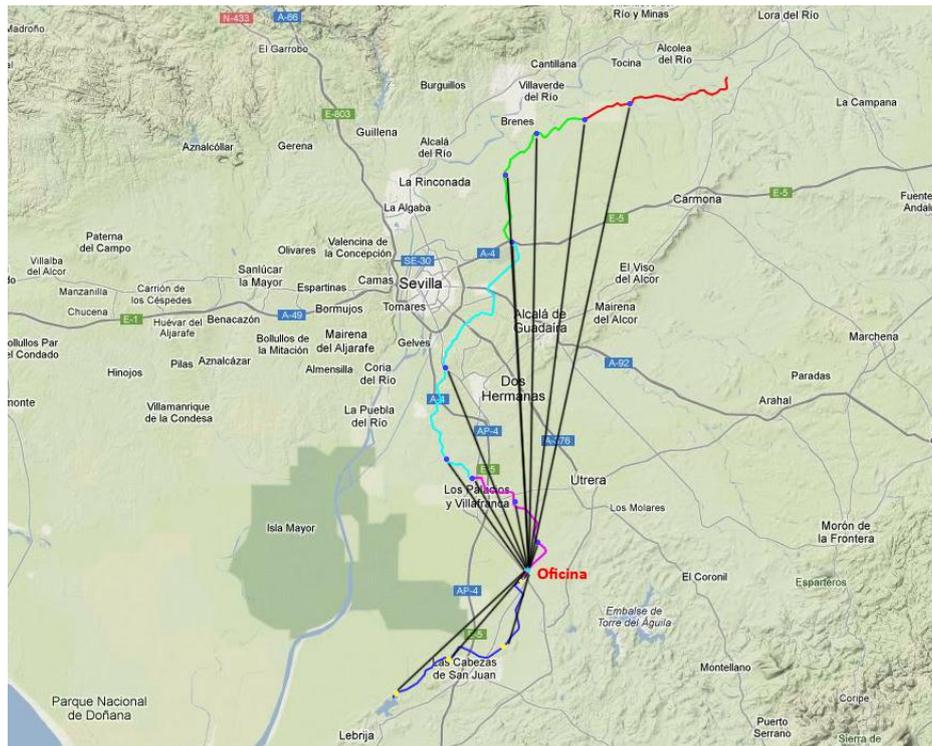


Figura 5.1: Topología en estrella.

Esta topología es más compleja, ya que aquí si es necesario direccionamiento para localizar los nodos, pero sin embargo es físicamente implementable en principio, salvo en los radioenlaces en los que por la distancia u orografía, no se pueda.

El inconveniente de esta topología (figura 5.1) es que si alguno de los nodos intermedios que actúan como repetidores cae, se cae todo el resto de red. Si cae el nodo más lejano al central, sólo supone perder la conexión con un nodo, pero si cae uno de los dos que están unidos en el primer salto, la situación es crítica puesto que se pierde la conexión de uno o varios tramos enteros del canal.

Esta estructura lógica de red parece una buena solución en cuanto a implementación, pero no es robusta ante posibles fallos en los nodos intermedios. Una posible mejora que eliminaría el problema de la falta de redundancia de enlaces, consiste en tener varios radioenlaces de respaldo o radioenlaces “back-up”, por si cae el radioenlace principal.

De esta forma, si cae un nodo intermedio, el nodo emisor puede intentar conectar con otro nodo más lejano para mantener la conexión con la oficina central. Evidentemente, la calidad del enlace será inferior, pero al menos no se cae la red.



Figura 5.2: Topología lineal.

En la figura 5.3 se puede ver una posible implementación de esta idea. Sólo se ha supuesto que cada nodo puede conectar con los nodos situados a dos saltos del mismo. Esto evidentemente es una simplificación y tiene como objetivo dar una idea de la topología buscada, ya que a priori no se sabe si estos radioenlaces serán realizables.

Hay que hacer hincapié en que los enlaces redundantes, sólo se activarán cuando caiga uno de los enlaces principales. Por lo tanto, si nada falla, la topología sería “lineal” también. En color naranja se pueden ver los enlaces de respaldo y en negro, la topología si no hay fallos.

En el proyecto se utilizará esta última topología por ser la más robusta y fácilmente implementable. En los apartados 5.2.2 y 5.2.3 se determinará si son realizables los radioenlaces entre las almenaras y caudalímetros o si, en caso contrario, hay que introducir nodos intermedios repetidores. Por otro lado se calcularán los enlaces de respaldo posibles para cada nodo.

## 5.2. Planificación de radioenlaces.

Una vez planteada la topología de red deseada, el paso siguiente en la planificación de red consiste en verificar mediante simulación si los radioenlaces son físicamente realizables y en caso contrario, mediante estudios de cobertura e inspección de la orografía, determinar en qué sitios se pueden instalar posibles nodos repetidores.

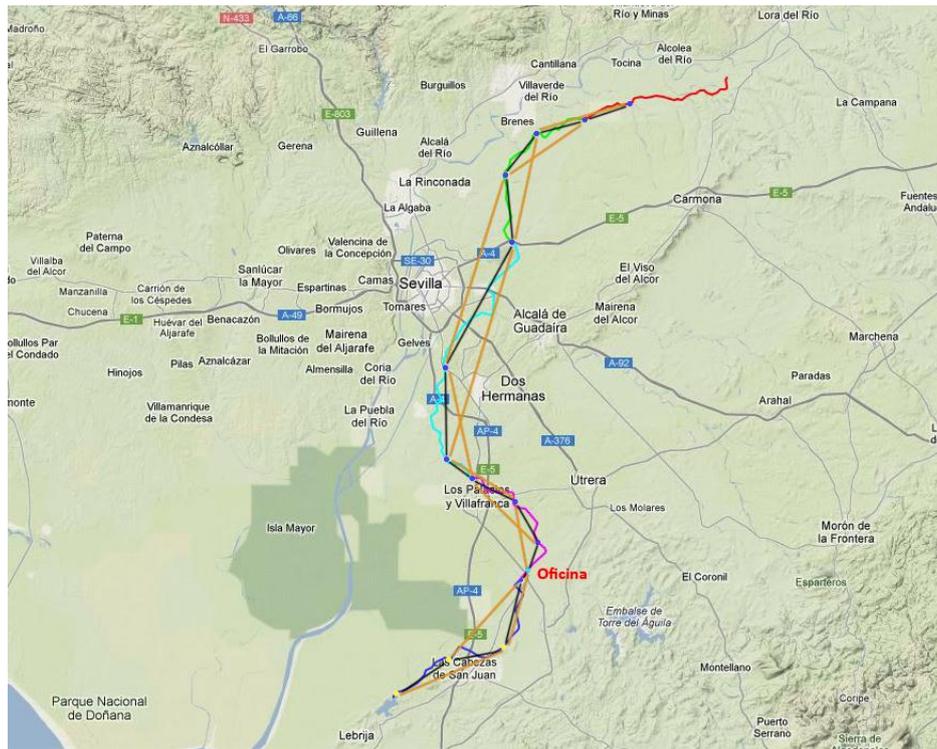


Figura 5.3: Topología lineal con enlaces de respaldo.

Para poder calcular los radioenlaces, es necesario configurar el simulador introduciendo los parámetros adecuados en su modelo, en este caso Longley-Rice. Tras realizar esto, se calcularán los radioenlaces y nodos necesarios mediante las herramientas Radio Link y Radio Coverage de Radio Mobile.

### 5.2.1. Parámetros de configuración del simulador.

En este apartado se detallan los parámetros de configuración de los nodos utilizados para la simulación con Radio Mobile.

#### 5.2.1.1. Altura de las antenas y ángulo elevación.

Tras realizar una visita a la Oficina Central, a las almenaras de San Fernando y Alcantarillas y al caudalímetro de Maribáñez, se pudo comprobar que la altura media de las bases donde están colocados los mástiles de las antenas actuales es de 6 metros para la oficina central, de 4 metros para las almenaras y de 2 metros para las casetas de los caudalímetros. Respecto a los posibles repetidores extra, se supondrán mástiles de 4 m y las estructuras que no son almenaras, 8 m.

Para las pruebas de campo se ha pensado en utilizar mástiles extensibles de hasta 4 metros. Por tanto, las alturas que se supondrán en los nodos de la red serán la suma de la longitud de dichos mástiles más la altura de las bases donde se colocarán.

Tipo de nodo	Altura
Oficina Central	10 m
Almenara	8 m
Estructura	8 m
Caudalímetro	6 m
Repetidor	4 m

Tabla 5.1: Altura de las antenas según ubicación.

Respecto al ángulo de elevación, se supondrá que las antenas están en principio dispuestas de manera perpendicular al suelo (plano H), o lo que es lo mismo, un ángulo de elevación de 0 grados.

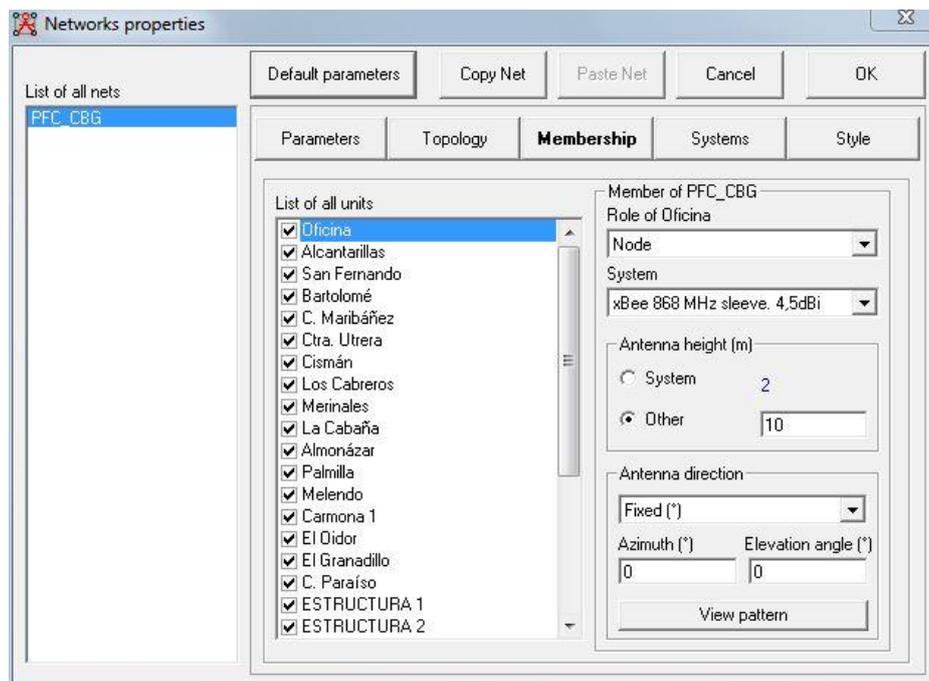


Figura 5.4: Lista de nodos de la red y configuración de la altura y orientación de las antenas.

### 5.2.1.2. Potencia de transmisión, umbral de recepción y pérdidas.

En principio supondremos que las estaciones transmiten al máximo de potencia establecido por la ley, buscando radioenlaces de alcance máximo y por tanto, minimizar el número de nodos.

Según la Norma UN-39, los xBee 868 MHz están clasificados como dispositivos de baja potencia no específicos para aplicaciones genéricas [2] en la banda (869.4, 869,65) MHz.

Las limitaciones que impone esta banda son en potencia radiada aparente (PRA) máxima, y en anchura de canal, limitando los canales a 25 KHz, si bien se añade una excepción, en la cual se pueden usar los 250 KHz de canal disponible, excluyendo aplicaciones de video.

Como se sabe de teoría de radiotransmisión [4], la PRA está relacionada con la PIRE por la siguiente relación:

$$PIRE(dBm) = PRA(dBm) + 2.15 dB$$

La limitación que impone la norma es de:

$$PRA_{max}(mW) = 500 mW \rightarrow PRA_{max}(dBm) \approx 27 dBm$$

Con lo cual nos queda,

$$PIRE_{max}(dBm) = 29.15 dBm$$

Por tanto, usando la nomenclatura anglosajona EIRP para la PIRE y recordando la fórmula vista en el apartado 3.4.1,

$$EIRP(dBm) = P_{Tx}(dBm) - L_c(dB) + G_{Tx}(dB)$$

Y de ahí, obtenemos la potencia de transmisión máxima,

$$P_{Tx_{max}}(dBm) = EIRP_{max}(dBm) + L_c(dB) - G_{Tx}(dB) = 24.85 dBm$$

Donde,

$$L_c(dB) = 0.2 dB$$

$$G_{Tx}(dB) = 4.5 dB$$

son las pérdidas de los conectores RP-SMA y la ganancia de la antena, respectivamente.

Para estimar las pérdidas de los conectores RP-SMA empleados, puesto que no se disponía de datasheets, se han obtenido datos de conectores similares. En concreto, para un conector RP-SMA a 868 MHz se tienen pérdidas de inserción típicas de 0.2 dB.

Puesto que esta es una estimación teórica y las pérdidas siempre serán un poco mayores, supondremos que la potencia máxima de transmisión es de 25 dBm, redondeando el valor. Así podremos comprobarlo después, al programar el Waspote en uno de los niveles permitidos de potencia [0, 13, 20, 22, 25] dBm.

Así que nos queda,

$$P_{Tx_{max}}(dBm) = 25 dBm$$

Respecto al umbral de recepción, éste viene dado por los datos del fabricante [16], y tiene un valor de -112 dBm.

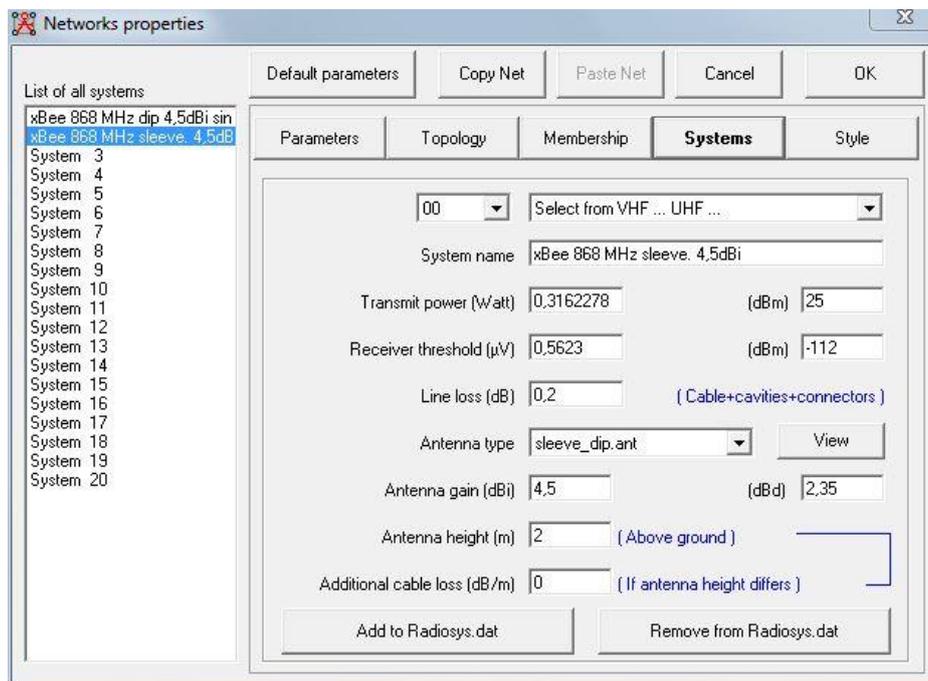


Figura 5.5: Configuración de los parámetros del nodo xBee 868 MHz.

En la figura se puede ver la configuración de todos los parámetros mencionados. La potencia de transmisión, el umbral de recepción, así como el tipo de antena y la ganancia y las pérdidas del cable más conectores.

### 5.2.1.3. Patrón de radiación de las antenas.

Radio Mobile dispone de diferentes patrones de antenas genéricas, como son por ejemplo, la antena isótropa, la Yagi o el dipolo lambda medios. No obstante, la antena utilizada en el proyecto es, como ya se adelantó en el capítulo 3.3.9., una antena de tipo dipolo enfundado o *“sleeve dipole”*. En particular, es una *“array sleeve dipole antenna”*.

En el grupo *“Radio Mobile Deluxe”* de Yahoo! Groups [21], se puede encontrar una herramienta desarrollada en Excel (figura 5.6) para diseñar patrones de antena personalizados. Tiene una precisión de hasta 5°.

Puesto que no se disponía de datasheet de la antena utilizada en el proyecto, se han tomado los datos de una antena sleeve dipole array [24] de similares características.

Desde esta herramienta, se pueden exportar directamente los datos a un archivo *‘.ant’*, el cual es utilizado por Radio Mobile para generar los patrones de radiación. Una vez obtenido el archivo *‘.ant’*, tan sólo hay que seleccionar el tipo de antena en *‘File > Network Properties > Systems’*.

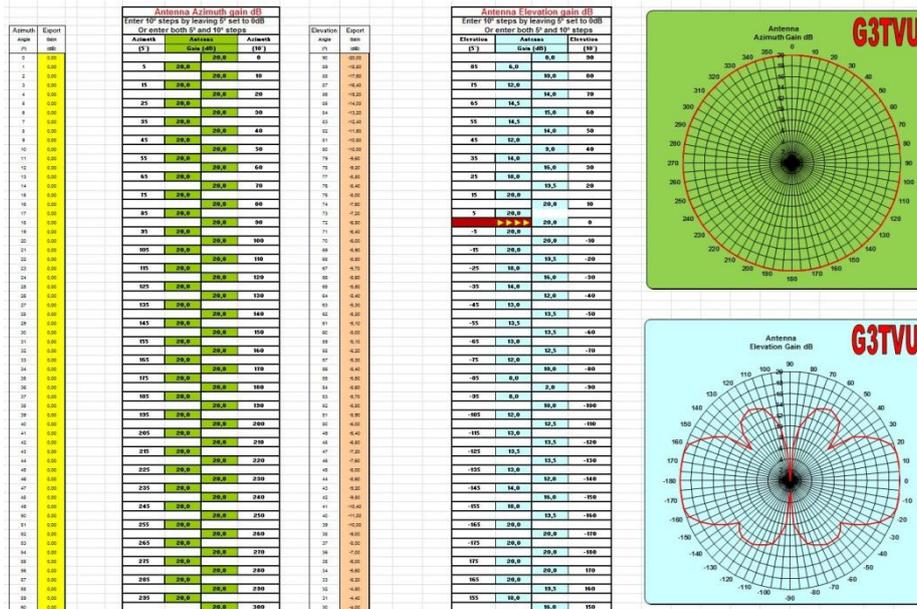


Figura 5.6: Generador de patrones de antena personalizados del grupo Radio Mobile Deluxe.

#### 5.2.1.4. Otros parámetros de Longley-Rice.

Se dejarán los valores por defecto de refractividad, permitividad eléctrica y conductividad del suelo que trae configurados Radio Mobile.

Configuración de Longley-Rice:

- **Clima:** *continental templado*.
- **Polarización de las antenas:** *vertical*, puesto que éstas se colocarán perpendiculares al plano del suelo.
- **Modo de variabilidad:** *'Broadcast'*, utilizado para nodos fijos [18], dejando los valores por defecto de Radio Mobile.
- **Banda de trabajo:** *(869.4, 869.65) MHz*, esto es, el canal de 25 KHz que utiliza el xBee 868.

En lo que respecta al tipo de red y la topología, se elige “red de datos” y “topología clúster”, ya que cualquier nodo puede comunicarse con cualquier otro [18] y es una red de datos. Dejamos el número de retransmisiones a cero para que no se efectúen retransmisiones.

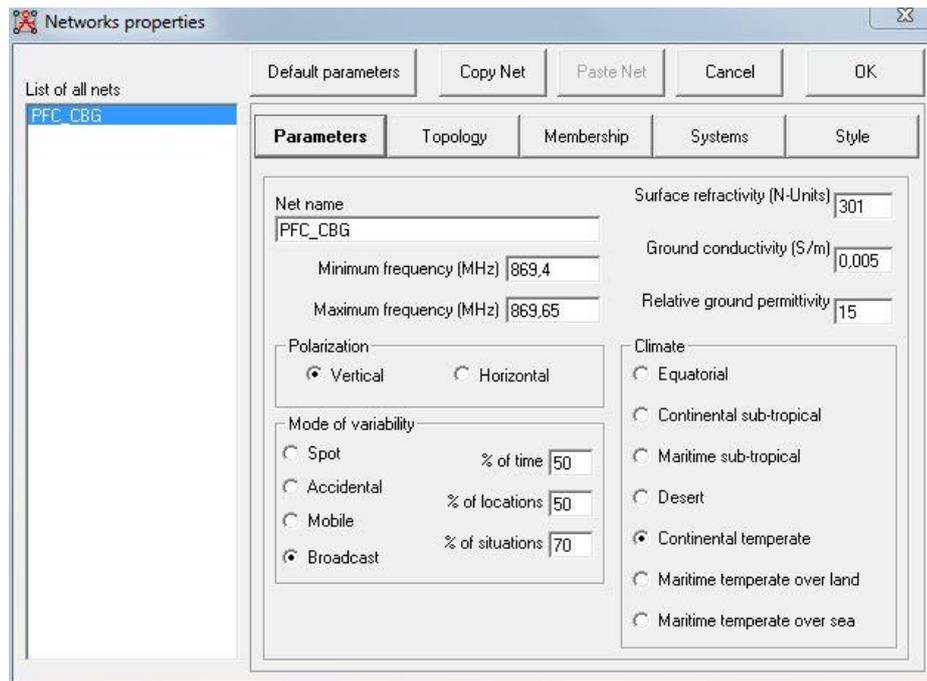


Figura 5.7: Parámetros de Longley-Rice.

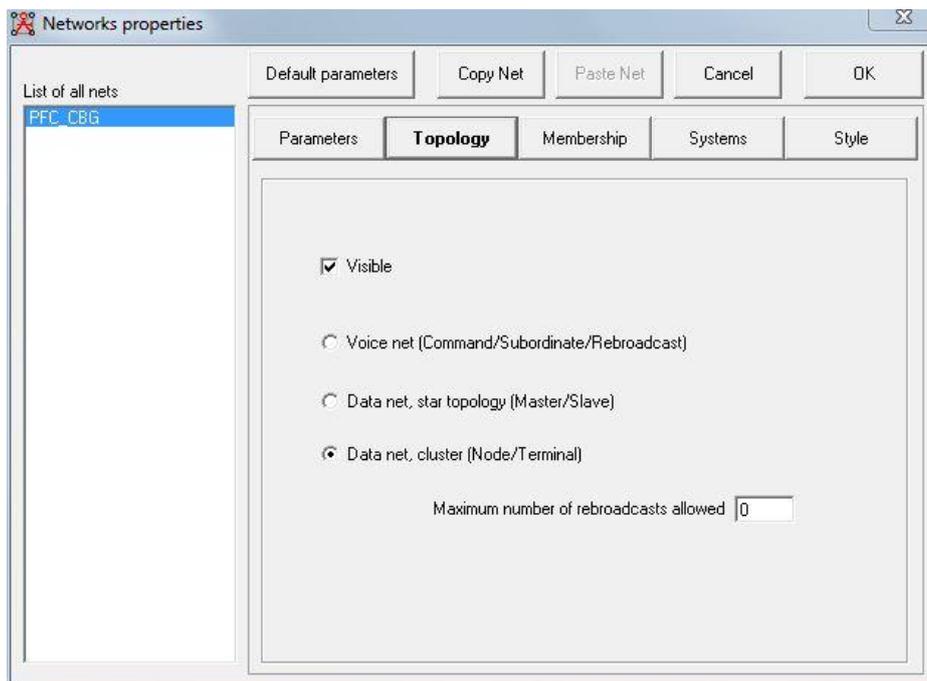


Figura 5.8: Topología de red 'cluster'.

Como modo de propagación, se puede elegir entre “modo normal” o “modo de estudio de interferencias”. Elegiremos el modo normal, por ser el más adecuado a nuestro proyecto y estableceremos que use el modo de dos rayos si hay visibilidad directa entre el transmisor y receptor (por defecto).

## 5.2.2. Cálculo de los radioenlaces primarios.

En este apartado se muestran las simulaciones realizadas con Radio Mobile para ver si es posible enlazar vía radio todos los nodos primarios de la red. Se usarán las herramientas Radio Link y Radio Coverage.



Figura 5.9: Modo de propagación y otros parámetros.

Siguiendo el esquema de red lineal con enlaces de respaldo planteado en el apartado 5.1, estos enlaces serían los que formarían la topología lineal, enlazando todos los nodos hasta llegar a la oficina. En el siguiente apartado se verán las simulaciones realizadas para calcular los radioenlaces secundarios de respaldo.

### 5.2.2.1. Tramo 1.

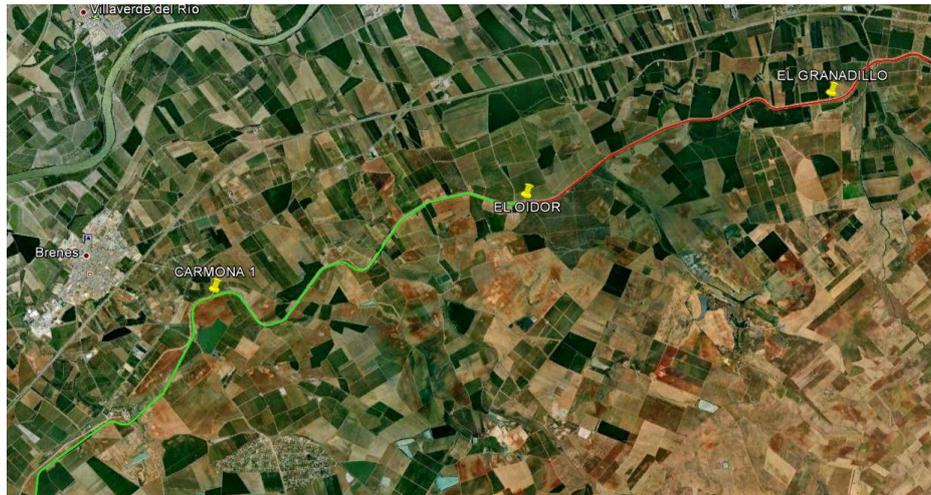


Figura 5.10: Tramo 1 (color rojo).

#### Radioenlace El Granadillo – El Oidor.

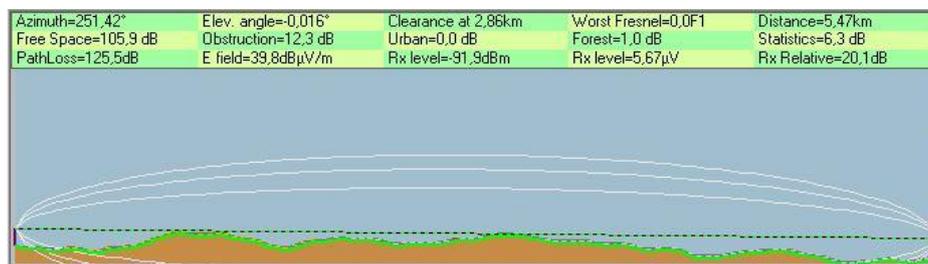


Figura 5.11: Radioenlace El Granadillo - El Oidor.

#### Radioenlace El Oidor – Carmona 1.



Figura 5.12: Radioenlace El Oidor – Carmona 1.

5.2.2.2. Tramo 2.

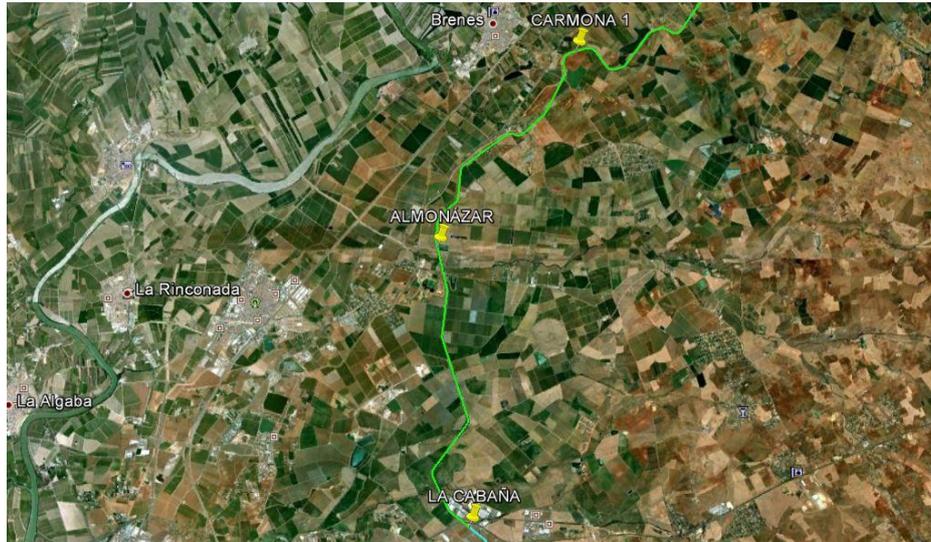


Figura 5.13: Tramo 2 (color verde).

**Radioenlace Carmona 1 – Almonázar.**

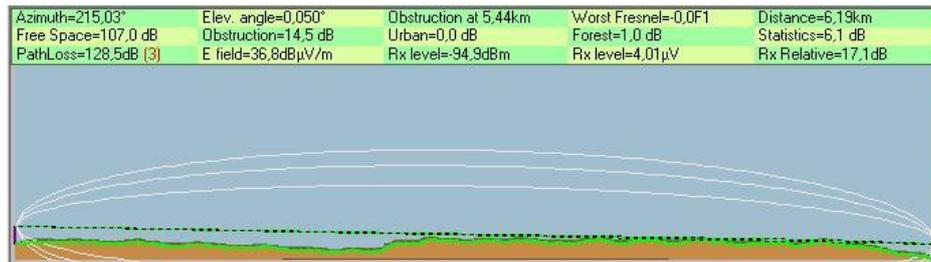


Figura 5.14: Radioenlace Carmona 1 – Almonázar.

**Radioenlace Almonázar – La Cabaña.**



Figura 5.15: Radioenlace Almonázar – La Cabaña.

En torno a la almenara de La Cabaña existe un pequeño polígono industrial, llamado “Los Espartales” con unos edificios de una altura media de 5 m. Por tanto, en esta zona suponemos que el link margin es de 15 dB en lugar de 10 dB. En la figura 5.16 se puede ver en rojo el radioenlace y en verde el tramo del canal.



Figura 5.16: Entorno de la almenara de La Cabaña y el radioenlace.

### 5.2.2.3. Tramo 3.

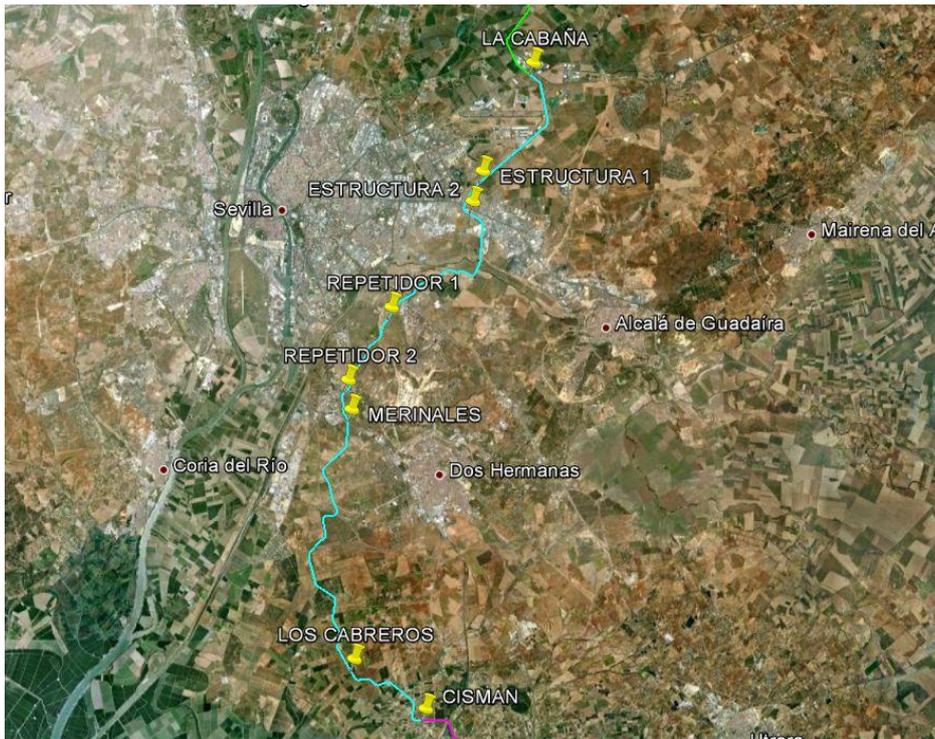


Figura 5.17: Tramo 3 (color cian).

### Radioenlace La Cabaña – Merinales.

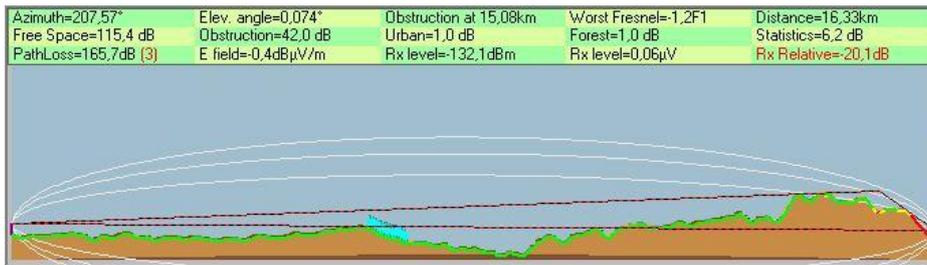


Figura 5.18: Radioenlace La Cabaña – Merinales.

Como se puede observar en la figura 5.18, la comunicación entre los nodos de La Cabaña y Merinales es imposible, ya que la distancia es muy grande y existe una colina cerca de Merinales que obstruye completamente la primera zona de Fresnel.

La única manera de que haya comunicación es colocando repetidores. Afortunadamente existen dos estructuras intermedias en el canal, que pueden servir de soporte para los repetidores.



Figura 5.19: Estructuras del canal cerca de Torreblanca.

### Radioenlace La Cabaña – Estructura 1.



Figura 5.20: Radioenlace La Cabaña – Estructura 1.

### **Radioenlace Estructura 1 – Estructura 2.**

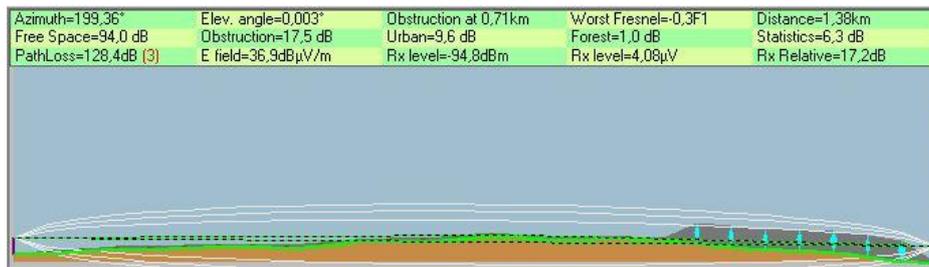


Figura 5.21: Radioenlace Estructura 1 – Estructura 2.

Este radioenlace atraviesa la zona de Torreblanca, con gran densidad urbana. Gracias a Land Cover, Radio Mobile detecta parte del clutter urbano, añadiendo pérdidas de 9.6 dB. Teniendo en cuenta que esta zona es urbana, se usará el link margin de 15 dB, y como se puede observar en la figura 5.21, el enlace es posible.

En la figura 5.22 se puede observar el radioenlace en rojo y la zona de Torreblanca que se atraviesa.



Figura 5.22: Radioenlace que atraviesa Torreblanca.

### **Radioenlace Estructura 2 – Merinales.**



Figura 5.23: Radioenlace Estructura 2 – Merinales.

La comunicación no es posible debido a la distancia y a la obstrucción completa de la primera zona de Fresnel por parte de la colina cercana a Merinales.

La única solución es poner uno o varios nodos repetidores entre las dos almenaras. Para ello podemos hacer uso de la herramienta Radio Coverage, poniéndole como umbral de representación la sensibilidad del receptor más el link margin de 15 dB, ya que atraviesa zonas urbanas en la barriada de Los Merinales y Montequinto.

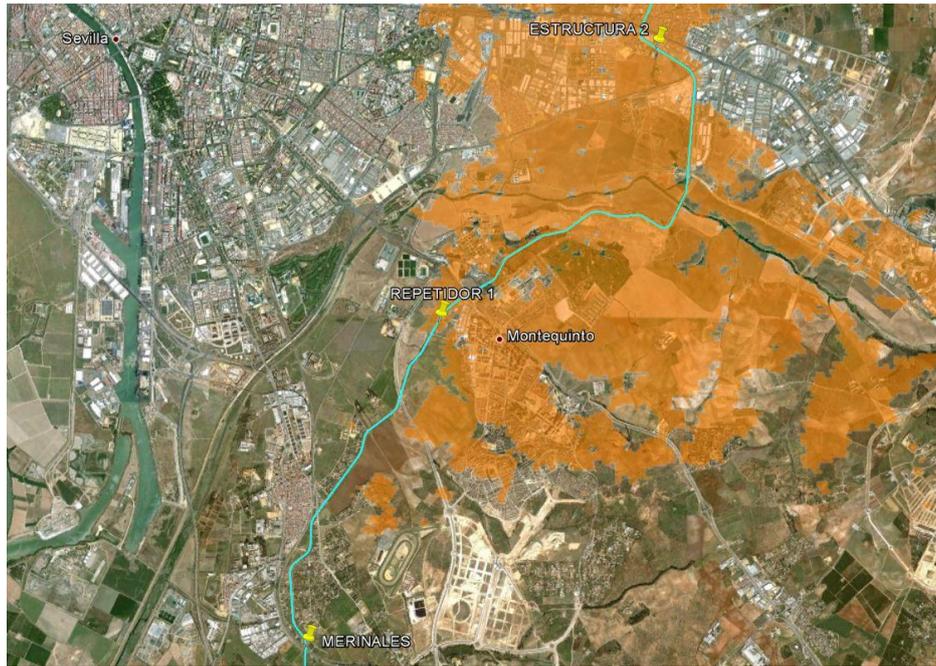


Figura 5.24: Mapa de cobertura del repetidor instalado en la estructura 2 con link margin de 15 dB.

Como mínimo es necesaria la colocación de un repetidor intermedio “Repetidor 1”, pues es imposible la comunicación con Merinales.

A su vez, volvemos a calcular el mapa de cobertura a partir del otro repetidor.

Debido a una loma cercana a la almenara de Merinales, tampoco es posible la comunicación con dicho nodo desde ningún punto del canal con cobertura desde el Repetidor 1 como se puede ver en la figura 5.25. Por tanto, se sitúa otro repetidor, “Repetidor 2” y se comprueba que es posible la comunicación con Radio Link al Repetidor 1.

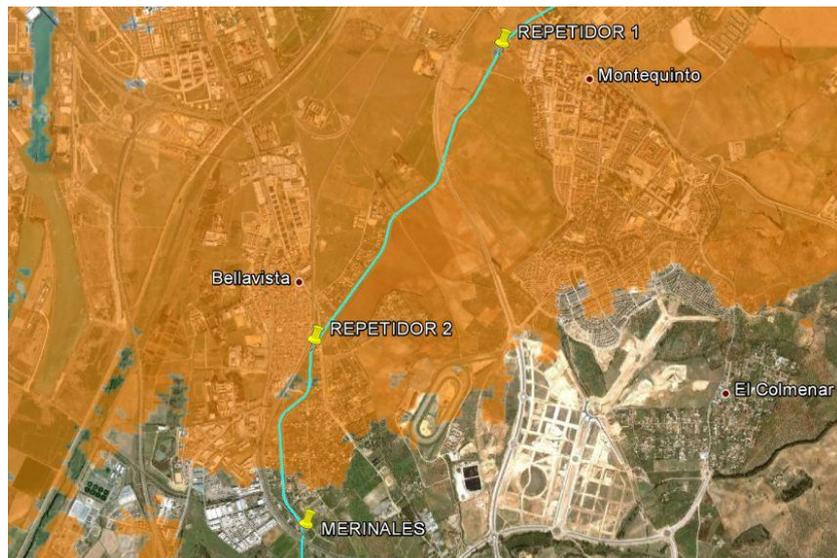


Figura 5.25: Mapa de cobertura del Repetidor 1 con link margin de 15 dB y situación de Repetidor 2.

**Radioenlace Estructura 2 – Repetidor 1.**



Figura 5.26: Radioenlace Estructura 2 – Repetidor 1.

**Radioenlace Repetidor 1 – Repetidor 2.**



Figura 5.27: Radioenlace Repetidor 1 – Repetidor 2.

**Radioenlace Repetidor 2 – Merinales.**

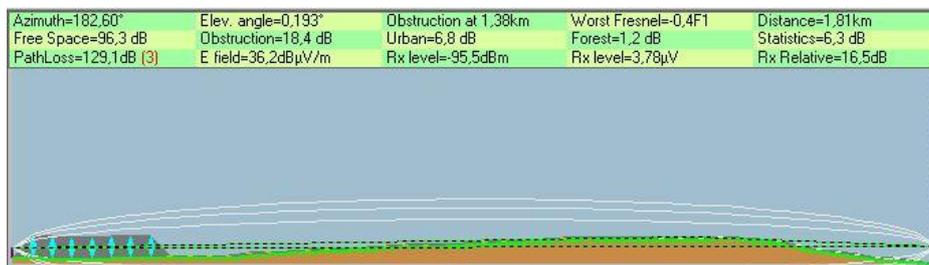


Figura 5.28: Radioenlace Repetidor 2 – Merinales.

Desde Merinales a Los Caberos no hay zonas urbanas por tanto se supondrá un link margin de 10 dB.

**Radioenlace Merinales – Los Caberos.**

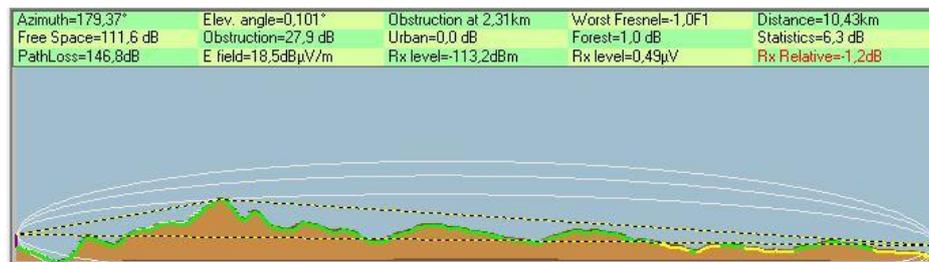


Figura 5.29: Radioenlace Merinales – Los Caberos.

La comunicación es imposible, por lo hay que colocar un repetidor intermedio.



Figura 5.30: Mapa de cobertura de Merinales con link margin de 10 dB y situación de Repetidor 3.

**Radioenlace Merinales – Repetidor 3.**



Figura 5.31: Radioenlace Merinales – Repetidor 3.

**Radioenlace Repetidor 3 – Los Cabreros.**



Figura 5.32: Radioenlace Repetidor 3 – Los Cabreros.

**Radioenlace Los Cabreros – Cismán.**



Figura 5.33: Radioenlace Los Cabreros – Cismán.

**5.2.2.4. Tramo 4.**

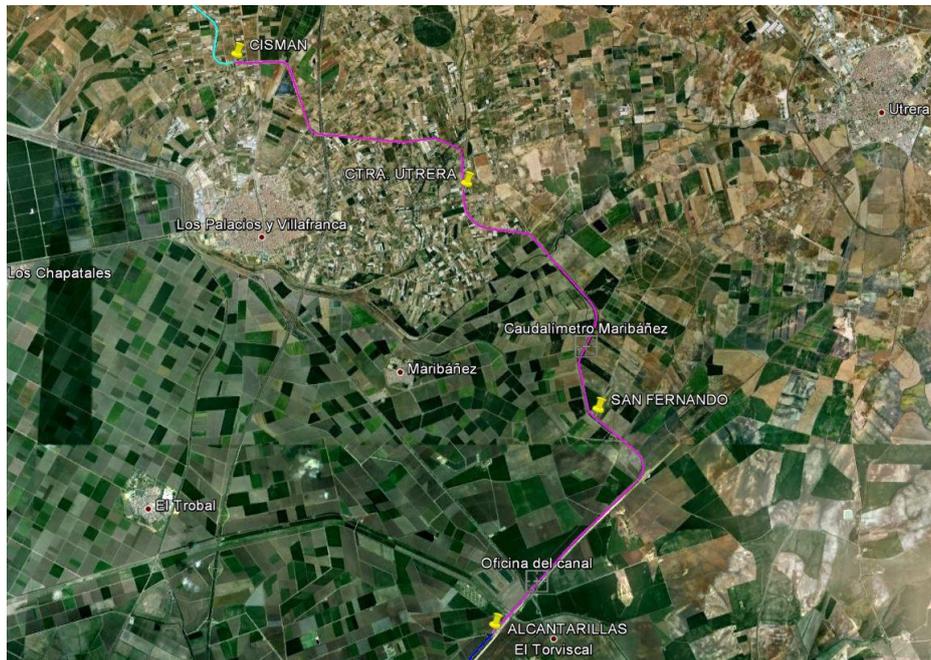


Figura 5.34: Tramo 4 (color magenta).

**Radioenlace Cismán – Ctra. Utrera.**



Figura 5.35: Radioenlace Cismán – Ctra. Utrera.

### **Radioenlace Ctra. Utrera – C. Maribáñez.**



Figura 5.36: Radioenlace Ctra. Utrera – C. Maribáñez.

### **Radioenlace C. Maribáñez – San Fernando.**



Figura 5.37: Radioenlace C. Maribáñez – San Fernando.

### **Radioenlace San Fernando – Oficina.**



Figura 5.38: Radioenlace San Fernando – Oficina.

### **Radioenlace Alcantarillas – Oficina.**

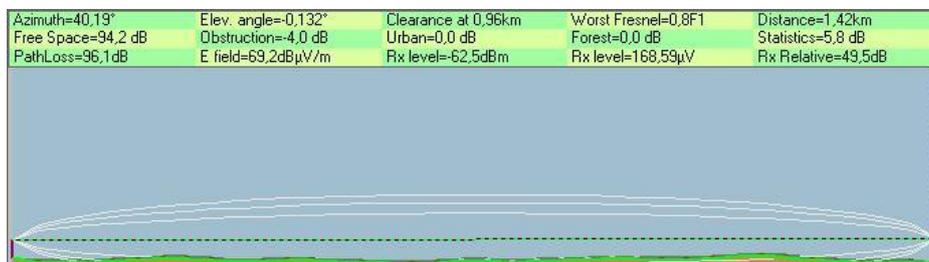


Figura 5.39: Radioenlace Alcantarillas – Oficina.

5.2.2.5. Tramo 5.



Figura 5.40: Tramo 5 (color azul).

**Radioenlace Bartolomé – Alcantarillas.**



Figura 5.41: Radioenlace Bartolomé – Alcantarillas.

**Radioenlace C. Paraíso – Bartolomé.**



Figura 5.42: Radioenlace C. Paraíso – Bartolomé.

**Radioenlace Palmilla – C. Paraíso.**

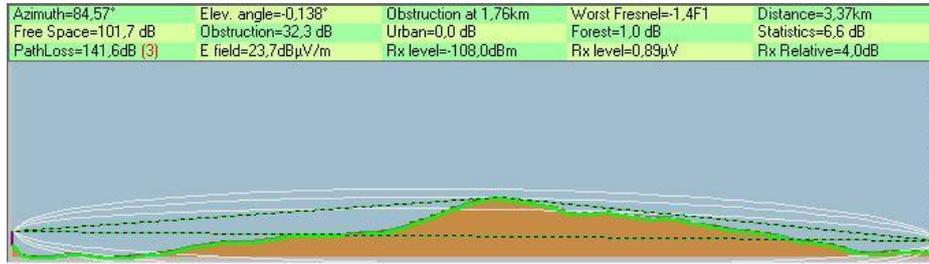


Figura 5.43: Radioenlace Palmilla – C. Paraíso.

**Radioenlace Melendo – Palmilla.**



Figura 5.44: Radioenlace Melendo – Palmilla.

En estos dos radioenlaces no es posible la comunicación debido a la presencia del “Cerro del Fantasma” al norte de Las Cabezas de San Juan, así como diversas lomas a su alrededor. Por lo tanto, la única solución es bordear este cerro, situando repetidores a lo largo del canal.



Figura 5.45: Mapa de cobertura de Melendo con link margen de 10 dB y situación de Repetidor 4.

Desde Melendo hay comunicación posible con Alcantarillas o con la Oficina, pero debido a la distancia y al nivel de señal recibido tan al límite, es un poco arriesgado dejarlos como enlaces principales.

Si se sitúa un repetidor (figura 5.45) cerca de Palmilla, se tiene asegurada la conectividad con Melendo y se gana en redundancia.

**Radioenlace Melendo – Repetidor 4.**



**Figura 5.46: Radioenlace Melendo – Repetidor 4.**

Desde Palmilla no hay conectividad con el Caudalímetro de El Paraíso, pero sin embargo es posible un radioenlace aceptable con Bartolomé, por lo que se tomará este como primario.



**Figura 5.47: Mapa de cobertura de Palmilla con link margin de 10 dB.**

### **Radioenlace Palmilla – Bartolomé.**

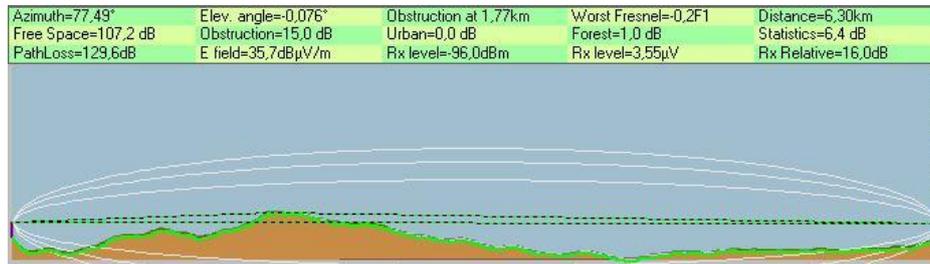


Figura 5.48: Radioenlace Palmilla – Bartolomé.

### **Radioenlace Repetidor 4 – Palmilla.**



Figura 5.49: Radioenlace Repetidor 4 – Palmilla.

### 5.2.2.6. Resumen de radioenlaces primarios.

Tras efectuar las simulaciones y los cálculos necesarios en los apartados anteriores, la conclusión es que hacen falta 23 nodos en total, 17 de los cuales, toman datos del canal y los 6 restantes, tienen la única misión de reenviar los datos que reciben hacia el nodo siguiente en dirección al nodo central.

En la tabla 5.2 se presentan los balances de potencias de los radioenlaces primarios simulados.

Tramo	Radioenlace	Longitud [Km]	Link Margin <sup>(1)</sup> [dB]	P <sub>RX</sub> (Sens.) <sup>(2)</sup> [dB]	P <sub>RX</sub> (Link M.) <sup>(3)</sup> [dB]
1	El Granadillo – El Oidor	5.47	10	20.1	10.1
1	El Oidor – Carmona 1	5.54	10	26.3	16.3
2	Carmona 1 – Almonázar	6.19	10	17.1	7.1
2	Almonázar – La Cabaña	7.26	15	17.7	2.7
3	La Cabaña – Estructura 1	5.04	10	28.5	18.5
3	Estructura 1 – Estructura 2	1.38	15	17.2	2.2
3	Estructura 2 – Repetidor 1	4.98	15	19.3	4.3
3	Repetidor 1 – Repetidor 2	3.43	15	21.8	6.8
3	Repetidor 2 – Merinales	1.81	15	16.5	1.5
3	Merinales – Repetidor 3	4.95	10	13.9	3.9
3	Repetidor 3 – Los Cabreros	5.67	10	18.6	8.6
3	Los Cabreros – Cismán	3.61	10	28.7	18.7
4	Cismán – Ctra. Utrera	5.38	10	21.4	11.4
4	Ctra. Utrera – C. Maribáñez	4.03	10	29.6	19.6
4	C. Maribáñez – San Fernando	1.48	10	39.8	29.8
4	San Fernando – Oficina	3.56	10	37.0	27.0
4	Alcantarillas – Oficina	1.42	10	49.5	39.5
5	Bartolomé – Alcantarillas	7.85	10	24.0	14.0
5	C. Paraíso – Bartolomé	2.98	10	40.3	30.3
5	Palmilla – Bartolomé	6.30	10	16.0	6.0
5	Repetidor 4 – Palmilla	1.11	10	14.1	4.1
5	Melendo – Repetidor 4	6.06	10	22.3	12.3

Tabla 5.2: Resumen de radioenlaces primarios.

#### Leyenda.

<sup>(1)</sup> Link Margin tenido en cuenta en la planificación del radioenlace. 10 dB en caso de zonas rurales y 15 dB en caso de zonas urbanas o suburbanas.

<sup>(2)</sup> P<sub>RX</sub> (Sens.). Potencia recibida relativa a la sensibilidad del receptor (-112 dBm).

<sup>(3)</sup> P<sub>RX</sub> (Link M.). Potencia recibida relativa a la sensibilidad del receptor más el link margin (-112 dBm + 10 o 15 dB).

### 5.2.3. Cálculo de los radioenlaces secundarios.

Los radioenlaces secundarios tienen como objetivo dar redundancia a la red y servir de respaldo en caso de caída de algún nodo primario.

En este apartado, se calculan para cada nodo los posibles radioenlaces de respaldo hacia nodos que estén en dirección a la oficina central. Con los datos obtenidos, será posible realizar una tabla para cada nodo con los saltos siguientes hacia el nodo central, ordenados por calidad del radioenlace.

#### 5.2.3.1. Tramo 1.

##### ➤ El Granadillo.

##### Radioenlace El Granadillo – Carmona 1.

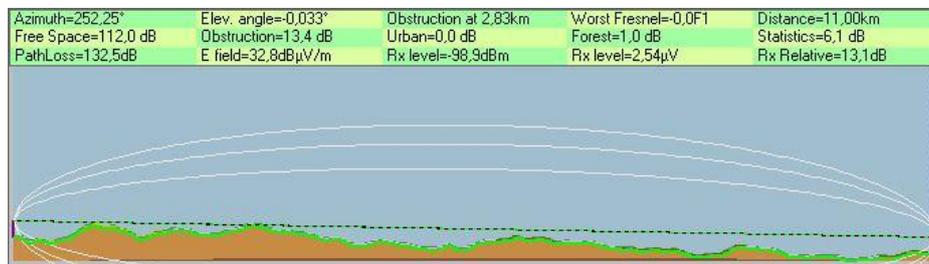


Figura 5.50: Radioenlace El Granadillo – Carmona 1.

##### ➤ El Oidor.

##### Radioenlace El Oidor – Almonázar.

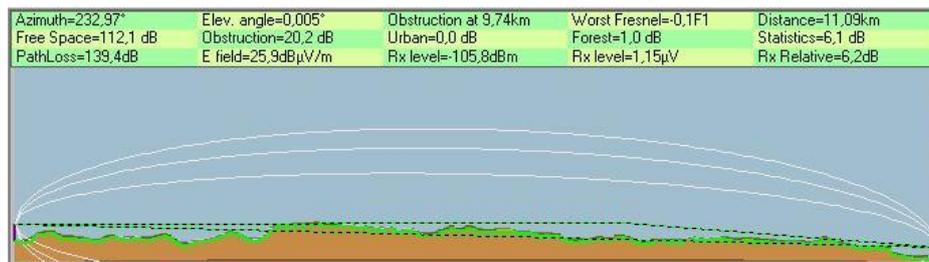


Figura 5.51: Radioenlace El Oidor – Almonázar.

### 5.2.3.2. Tramo 2.

#### ➤ Carmona 1.

##### Radioenlace Carmona 1 – La Cabaña.



Figura 5.52: Radioenlace Carmona 1 – La Cabaña.

##### Radioenlace Carmona 1 – Estructura 1.

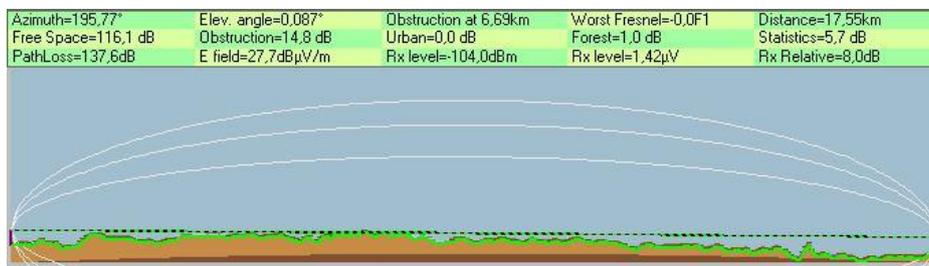


Figura 5.53: Radioenlace Carmona 1 – Estructura 1.

#### ➤ Almonázar.

##### Radioenlace Almonázar – Estructura 1.

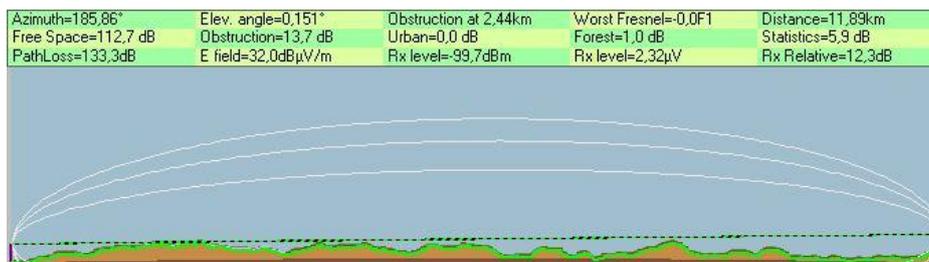


Figura 5.54: Radioenlace Almonázar – Estructura 1.

##### Radioenlace Almonázar – Repetidor 1.

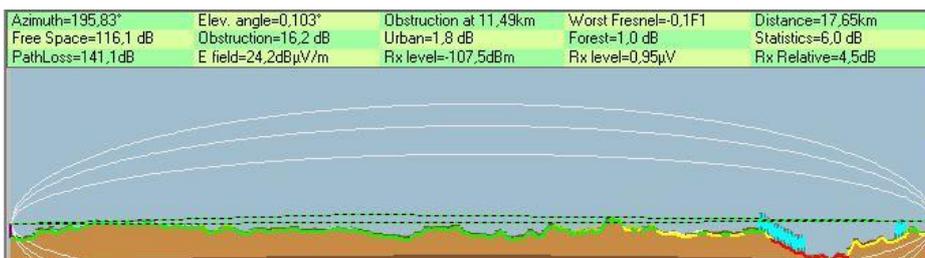


Figura 5.55: Radioenlace Almonázar – Repetidor 1.

➤ **La Cabaña.**

**Radioenlace La Cabaña – Estructura 2.**

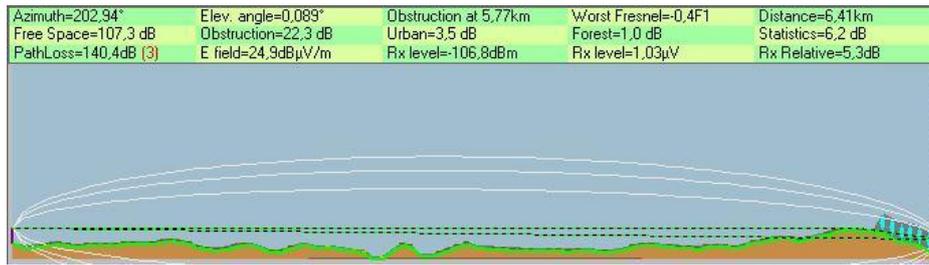


Figura 5.56: Radioenlace La Cabaña – Estructura 2.

**Radioenlace La Cabaña – Repetidor 1.**



Figura 5.57: Radioenlace La Cabaña – Repetidor 1.

**Radioenlace La Cabaña – Repetidor 2.**



Figura 5.58: Radioenlace La Cabaña – Repetidor 2.

5.2.3.3. Tramo 3.

➤ **Estructura 1.**

**Radioenlace Estructura 1 – Repetidor 1.**



Figura 5.59: Radioenlace Estructura 1 – Repetidor 1.

**Radioenlace Estructura 1 – Repetidor 2.**

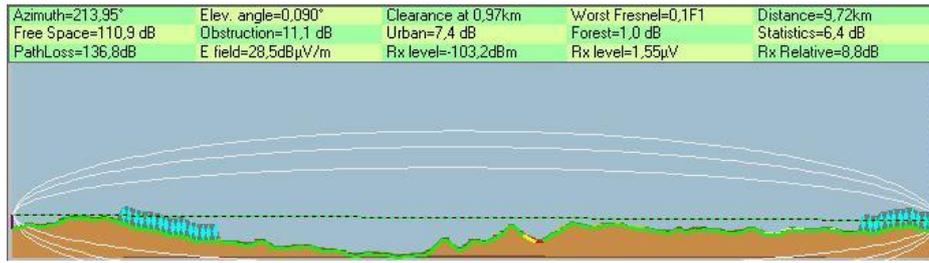


Figura 5.60: Radioenlace Estructura 1 – Repetidor 2.

➤ **Estructura 2.**

**Radioenlace Estructura 2 – Repetidor 2.**

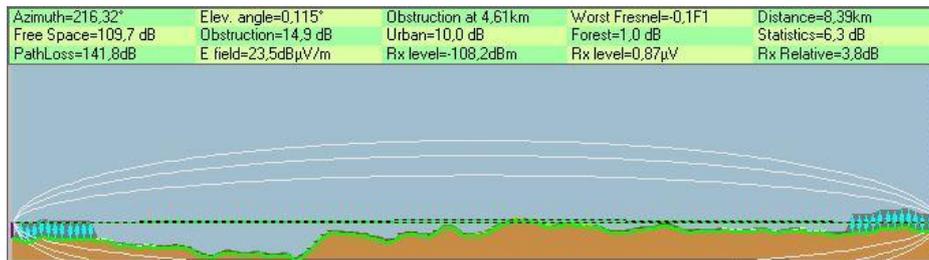


Figura 5.61: Radioenlace Estructura 2 – Repetidor 2.

➤ **Repetidor 1.**

**Radioenlace Repetidor 1 – Merinales.**

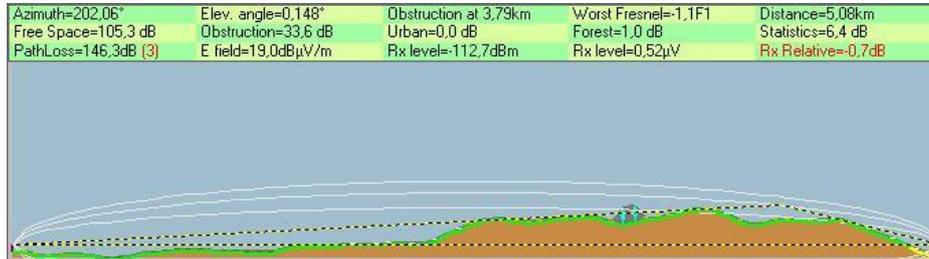


Figura 5.62: Radioenlace Repetidor 1 – Merinales.

➤ **Repetidor 2.**

**Radioenlace Repetidor 2 – Repetidor 3.**

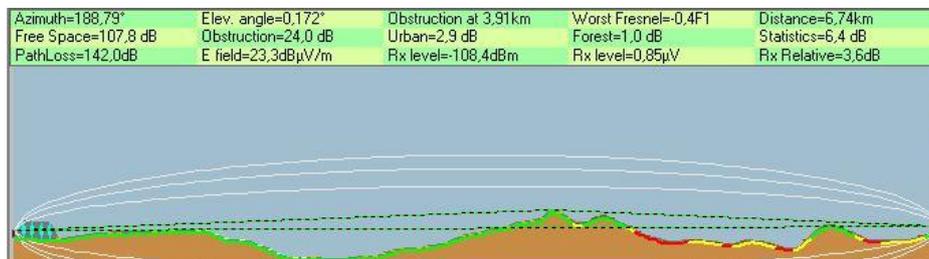


Figura 5.63: Radioenlace Repetidor 2 – Repetidor 3.

➤ **Merinales.**

**Radioenlace Merinales – Los Cabreros.**

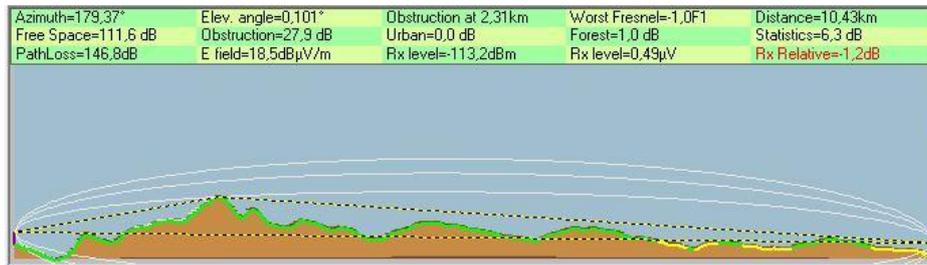


Figura 5.64: Radioenlace Merinales – Los Cabreros.

➤ **Repetidor 3.**

**Radioenlace Repetidor 3 – Cismán.**

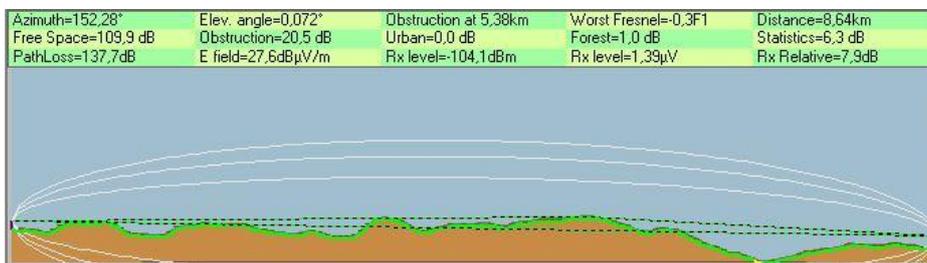


Figura 5.65: Radioenlace Repetidor 3 – Cismán.

➤ **Los Cabreros.**

**Radioenlace Los Cabreros – Ctra. Utrera.**

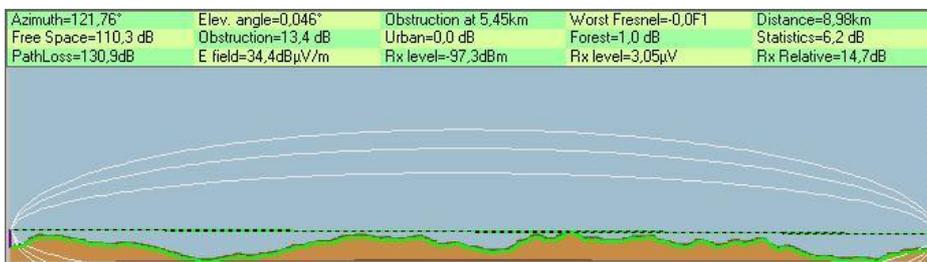


Figura 5.66: Radioenlace Los Cabreros – Ctra. Utrera.

**Radioenlace Los Cabreros – San Fernando.**



Figura 5.67: Radioenlace Los Cabreros – San Fernando.

**Radioenlace Los Cabreros – Oficina.**



Figura 5.68: Radioenlace Los Cabreros – Oficina.

➤ **Cismán.**

**Radioenlace Cismán – C. Maribáñez.**

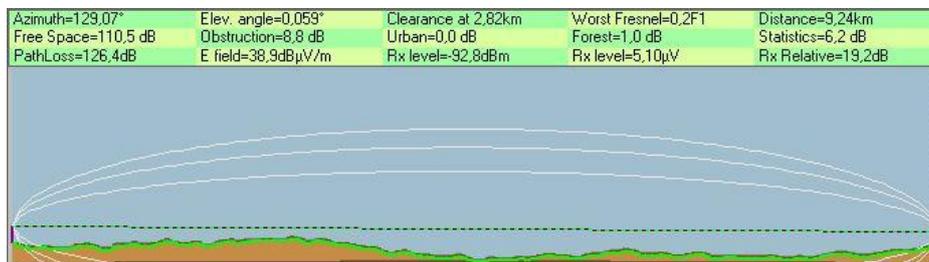


Figura 5.69: Radioenlace Cismán – C. Maribáñez.

**Radioenlace Cismán – San Fernando.**

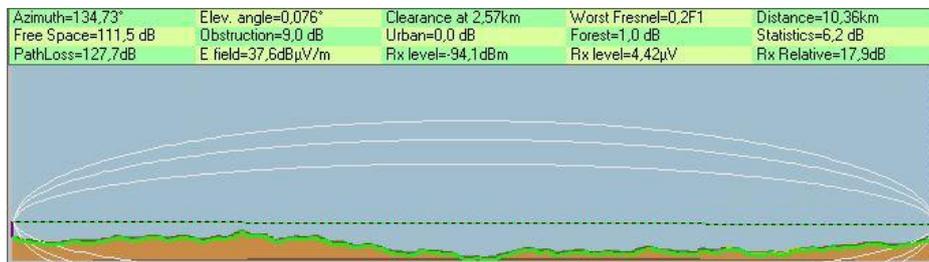


Figura 5.70: Radioenlace Cismán – San Fernando.

**Radioenlace Cismán – Oficina.**

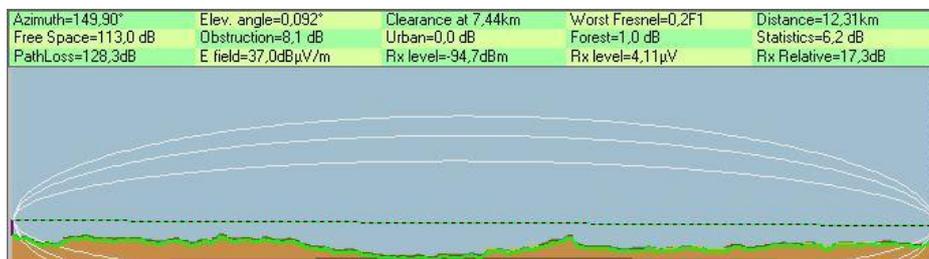


Figura 5.71: Radioenlace Cismán – Oficina.

#### 5.2.3.4. Tramo 4.

##### ➤ Ctra. Utrera.

##### Radioenlace Ctra. Utrera – San Fernando.



Figura 5.72: Radioenlace Ctra. Utrera – San Fernando.

##### Radioenlace Ctra. Utrera – Oficina.



Figura 5.73: Radioenlace Ctra. Utrera – Oficina.

##### ➤ C. Maribáñez.

##### Radioenlace C. Maribáñez – Oficina.



Figura 5.74: Radioenlace C. Maribáñez – Oficina.

### 5.2.3.5. Tramo 5.

#### ➤ Bartolomé.

##### Radioenlace Bartolomé – Oficina.

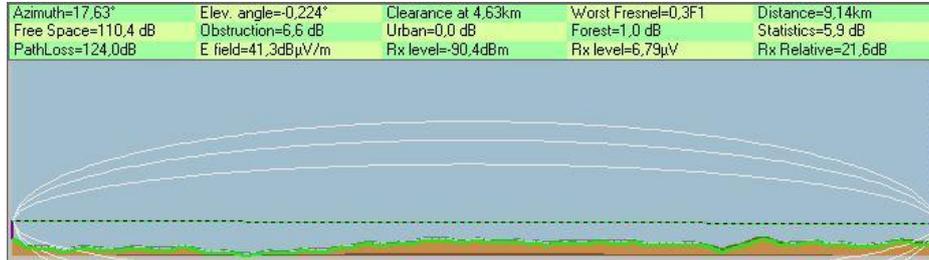


Figura 5.75: Radioenlace Bartolomé – Oficina.

#### ➤ C. Paraíso.

##### Radioenlace C. Paraíso – Alcantarillas.



Figura 5.76: Radioenlace C. Paraíso – Alcantarillas.

##### Radioenlace C. Paraíso – Oficina.



Figura 5.77: Radioenlace C. Paraíso – Oficina.

➤ **Palmilla.**

**Radioenlace Palmilla – Alcantarillas.**



Figura 5.78: Radioenlace Palmilla – Alcantarillas.

**Radioenlace Palmilla – Oficina.**



Figura 5.79: Radioenlace Palmilla – Oficina.

➤ **Repetidor 4.**

**Radioenlace Repetidor 4 – Alcantarillas.**



Figura 5.80: Radioenlace Repetidor 4 – Alcantarillas.

**Radioenlace Repetidor 4 – Oficina.**

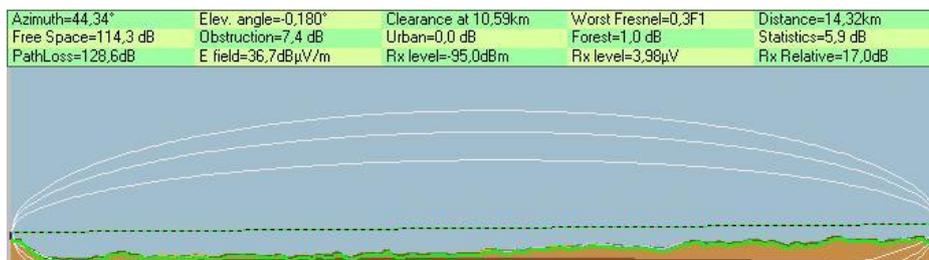


Figura 5.81: Radioenlace Repetidor 4 – Oficina.

➤ **Melendo.**

**Radioenlace Melendo – Alcantarillas.**



Figura 5.82: Radioenlace Melendo – Alcantarillas.

**Radioenlace Melendo – Oficina.**



Figura 5.83: Radioenlace Melendo – Oficina.

**5.2.3.6. Resumen de radioenlaces secundarios.**

Tras efectuar las simulaciones se obtiene la tabla 5.3 con los balances de potencias. En ella se presentan sólo los radioenlaces secundarios con valores de potencia recibida superiores al umbral de recepción (sensibilidad) o ligeramente inferiores, en caso de no haber otra opción. En la tabla se observa que en los tramos 4 y 5 existe posibilidad de comunicación con valores de recepción de potencia por encima de los valores de link margin. Sin embargo, en la mayor parte de radioenlaces secundarios de los tramos 1, 2 y 3, la recepción está por debajo del link margin, aunque salvo excepciones, por encima del valor de sensibilidad.

Los dos puntos críticos de la red son la zona de Torreblanca y la zona de Merinales, ya que en ambos casos existe clutter urbano y lomas o cerros.

En la zona de Torreblanca, donde se encuentran “Estructura 1” y “Estructura 2” es posible la colocación de enlaces redundantes. Sin embargo, para conseguir redundancia en la zona de Merinales serían necesarios demasiados nodos repetidores extra.

Tramo	Nodo origen	Nodo destino	Longitud [Km]	Link Margin <sup>(1)</sup> [dB]	P <sub>RX</sub> (Sens.) <sup>(2)</sup> [dB]	P <sub>RX</sub> (Link M.) <sup>(3)</sup> [dB]
1	El Granadillo	Carmona 1	11.00	10	13.1	3.1
1	El Oidor	Almonázar	5.54	10	6.2	-3.8
2	Carmona 1	La Cabaña	12.58	10	12.9	2.9
		Estructura 1	17.55	10	8.0	-2.0
2	Almonázar	Estructura 1	11.89	10	12.3	2.3
		Repetidor 1	17.65	15	4.5	-10.5
2	La Cabaña	Repetidor 1	11.28	15	16.2	1.2
		Repetidor 2	14.71	15	8.4	6.6
		Estructura 2	6.1	15	4.5	-10.5
3	Estructura 1	Repetidor 1	6.29	15	17.3	2.3
		Repetidor 2	9.72	15	8.8	6.2
3	Estructura 2	Repetidor 2	8.39	15	3.8	-11.2
3	Repetidor 1	Merinales	5.08	10	-0.7	-10.7
3	Repetidor 2	Repetidor 3	6.74	15	3.6	-11.4
3	Merinales	Los Cabreros	10.43	10	-1.2	-11.2
3	Repetidor 3	Cismán	8.64	10	7.9	-2.1
3	Los Cabreros	Ctra. Utrera	8.98	10	14.7	4.7
		Oficina	15.66	10	14.0	4.0
		San Fernando	13.94	10	13.4	3.4
3	Cismán	C. Maribáñez	9.24	10	19.2	9.2
		San Fernando	10.36	10	17.9	7.9
		Oficina	12.31	10	17.3	7.3
4	Ctra. Utrera	San Fernando	5.36	10	27.2	17.2
		Oficina	8.14	10	25.3	15.3
4	C. Maribáñez	Oficina	4.93	10	29.6	19.6
5	Bartolomé	Oficina	9.14	10	21.6	11.6
5	C. Paraíso	Alcantarillas	9.83	10	20.8	10.8
		Oficina	11.23	10	19.0	9.0
5	Palmilla	Alcantarillas	12.03	10	19.6	9.6
		Oficina	13.45	10	18.4	8.4
5	Repetidor 4	Alcantarillas	12.90	10	19.2	9.2
		Oficina	14.32	10	17.0	7.0
5	Melendo	Alcantarillas	18.91	10	14.8	4.8
		Oficina	20.32	10	13.6	3.6

Tabla 5.3: Resumen de radioenlaces secundarios.

**Leyenda.**

<sup>(1)</sup> Link Margin tenido en cuenta en la planificación del radioenlace. 10 dB en caso de zonas rurales y 15 dB en caso de zonas urbanas o suburbanas.

<sup>(2)</sup> P<sub>RX</sub> (Sens.). Potencia recibida relativa a la sensibilidad del receptor (-112 dBm).

<sup>(3)</sup> P<sub>RX</sub> (Link M.). Potencia recibida relativa a la sensibilidad del receptor más el link margin (-112 dBm + 10 o 15 dB).

#### 5.2.4. Diagramas de cobertura.

En este apartado se incluye, como información adicional, la cobertura ofrecida por cada nodo para que se aprecie de forma visual sobre el mapa hasta donde llegaría la señal emitida desde cada nodo, superando la sensibilidad del receptor (-112 dBm).

##### 5.2.4.1. El Granadillo.

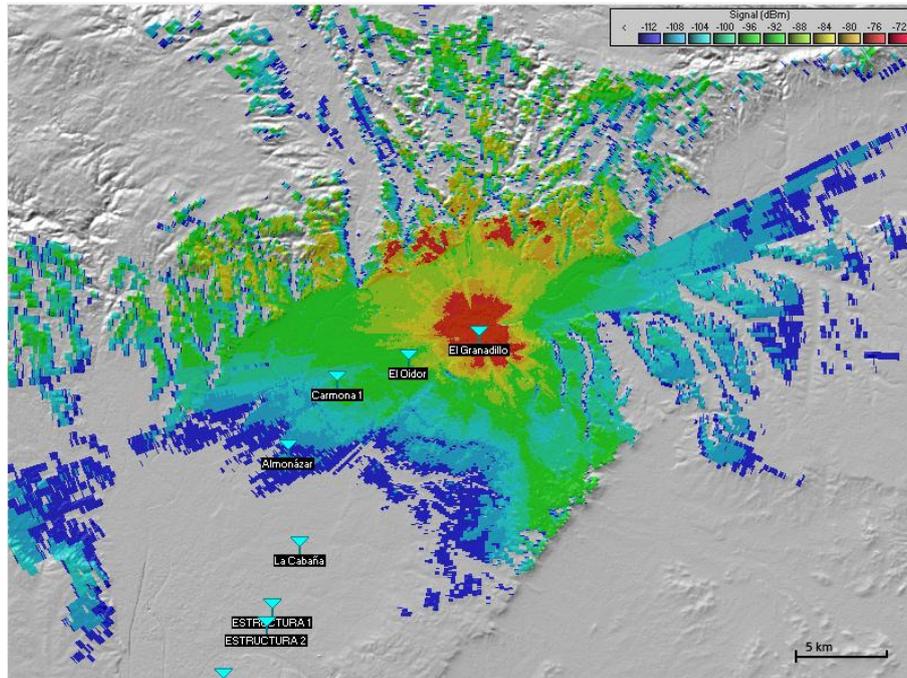


Figura 5.84: Diagrama de cobertura de El Granadillo.

### 5.2.4.2. El Oidor.

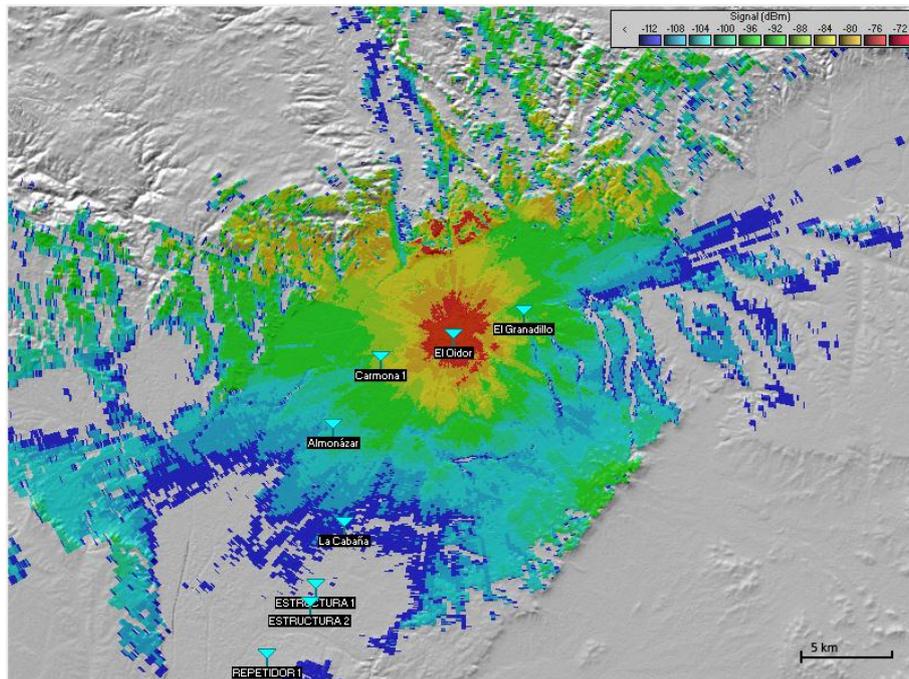


Figura 5.85: Diagrama de cobertura de El Oidor.

### 5.2.4.3. Carmona 1.

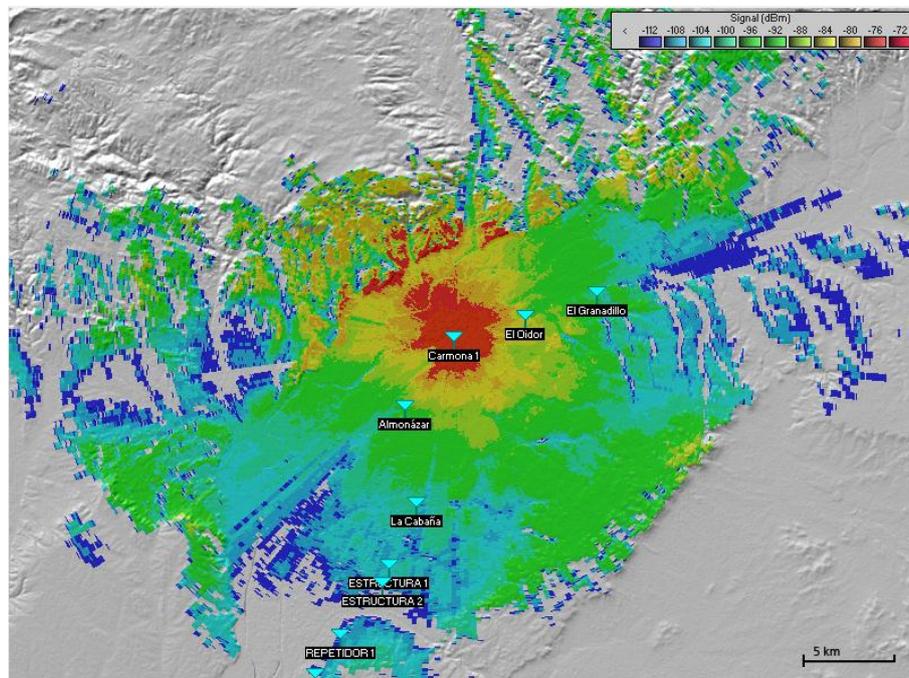


Figura 5.86: Diagrama de cobertura de Carmona 1.

#### 5.2.4.4. Almonázar.

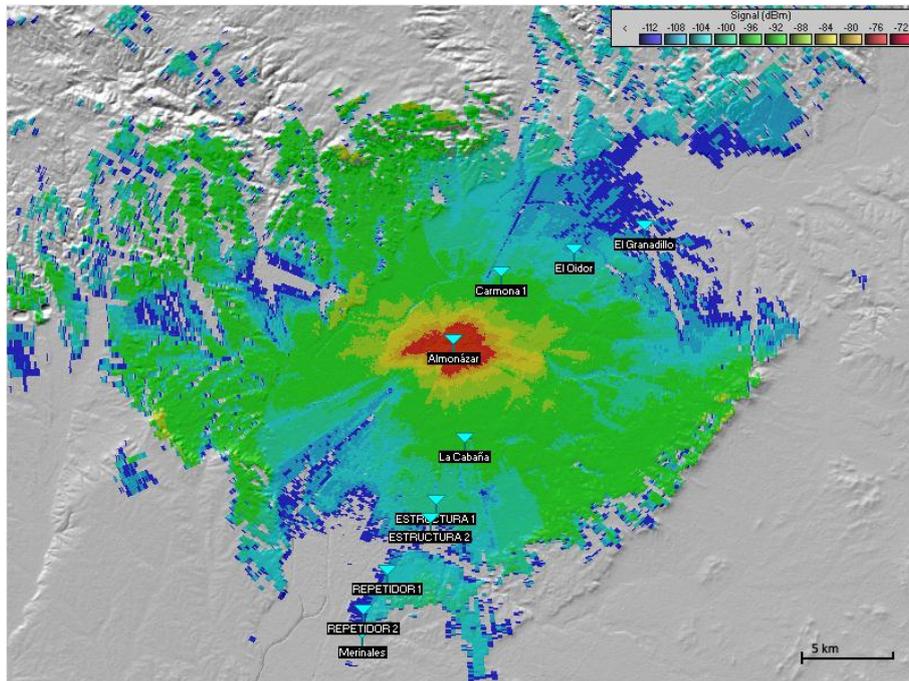


Figura 5.87: Diagrama de cobertura de Almonázar.

#### 5.2.4.5. La Cabaña.

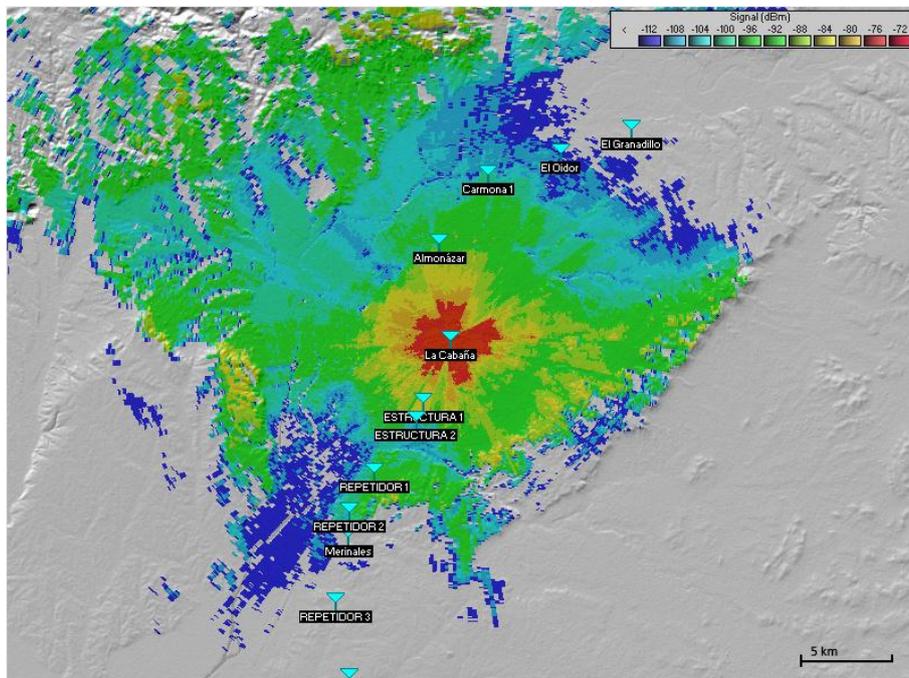


Figura 5.88: Diagrama de cobertura de La Cabaña.

### 5.2.4.6. Estructura 1.

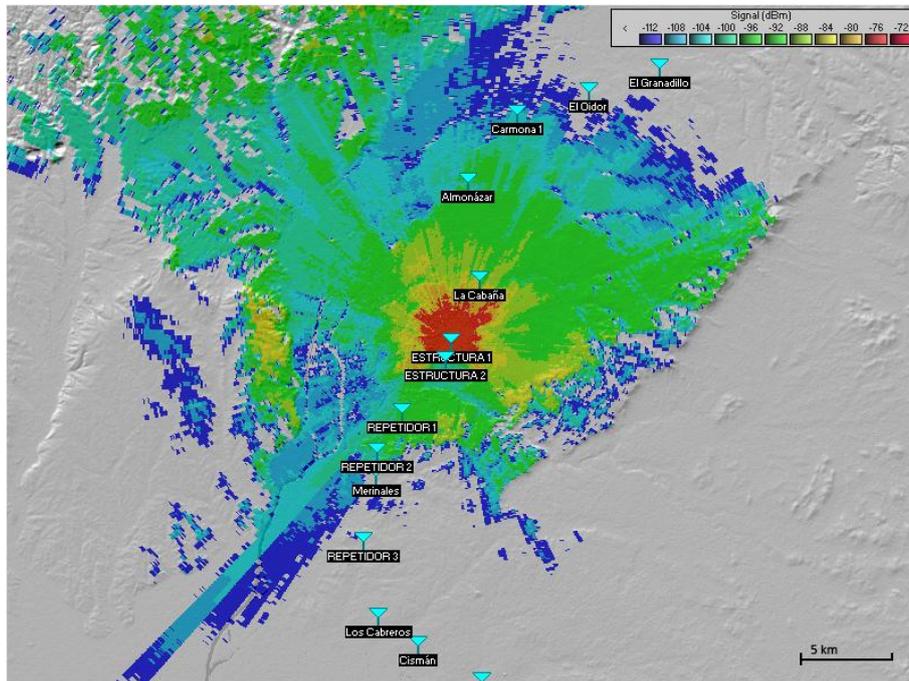


Figura 5.89: Diagrama de cobertura de Estructura 1.

### 5.2.4.7. Estructura 2.

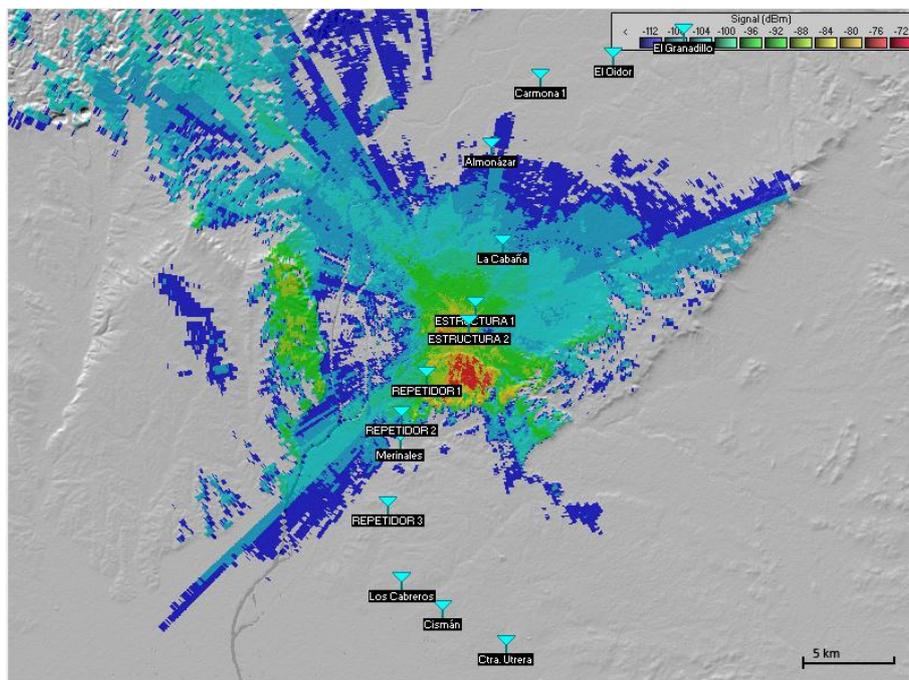


Figura 5.90: Diagrama de cobertura de Estructura 2.

### 5.2.4.8. Repetidor 1.

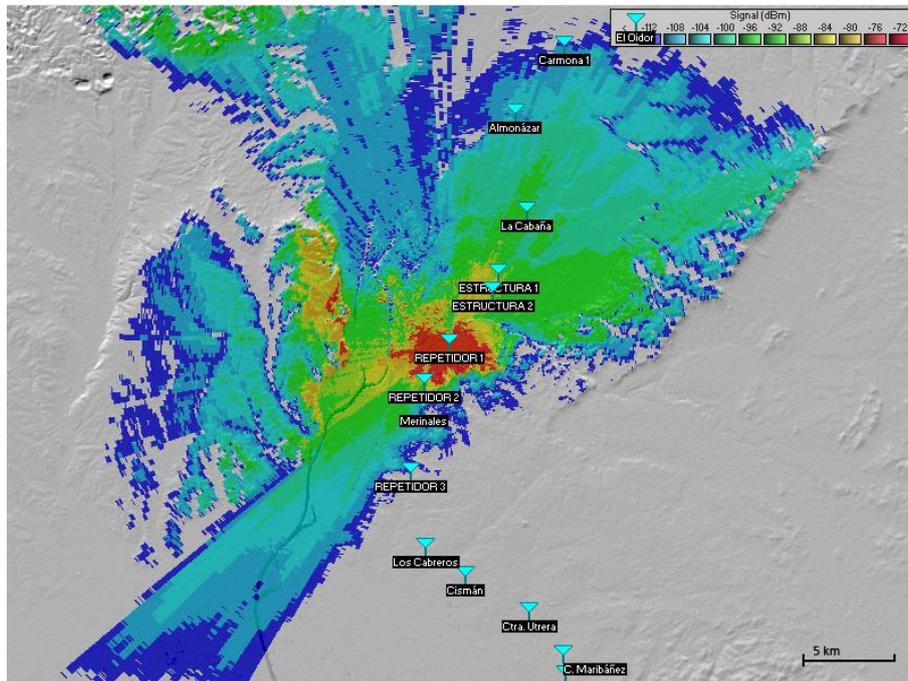


Figura 5.91: Diagrama de cobertura de Repetidor 1.

### 5.2.4.9. Repetidor 2.

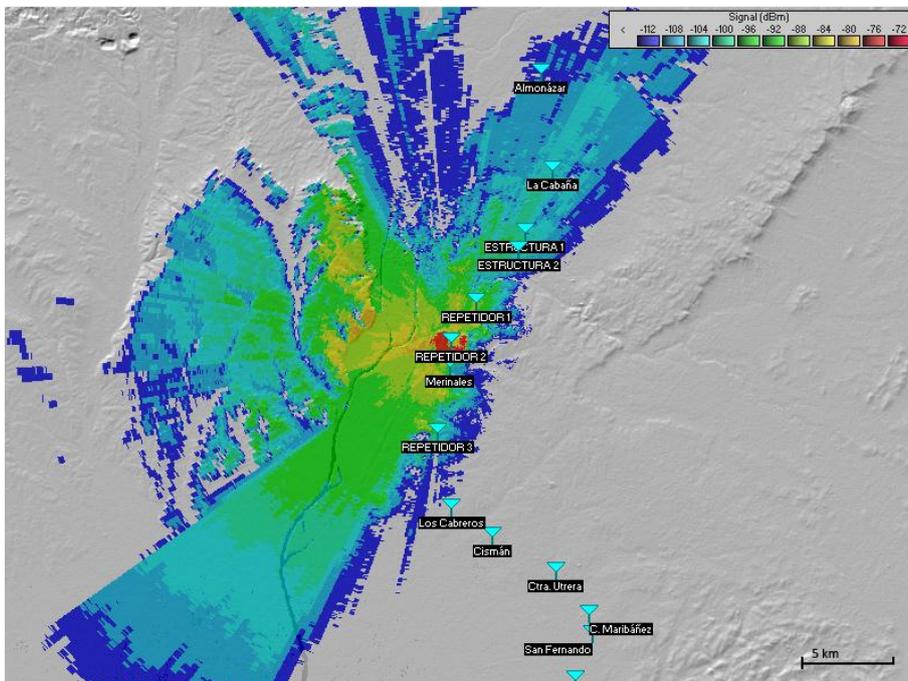


Figura 5.92: Diagrama de cobertura de Repetidor 2.

### 5.2.4.10. Merinales.

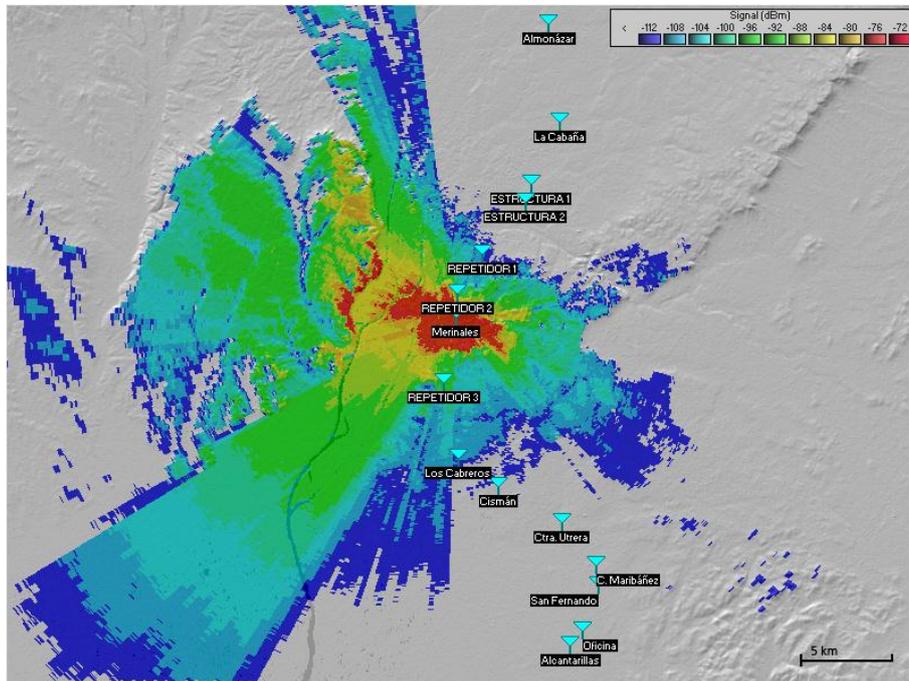


Figura 5.93: Diagrama de cobertura de Merinales.

### 5.2.4.11. Repetidor 3.

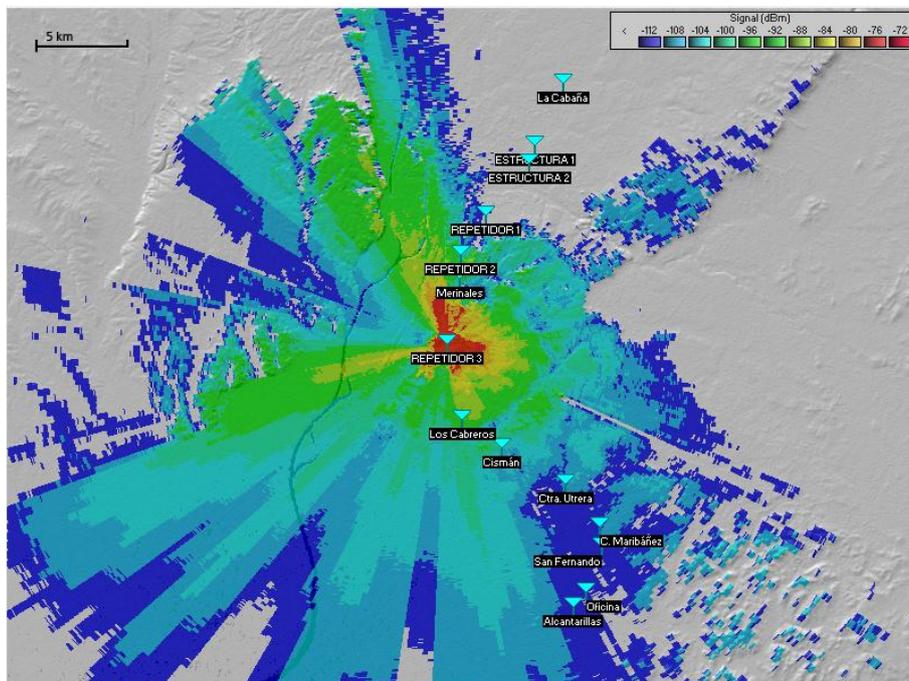


Figura 5.94: Diagrama de cobertura de Repetidor 3.

### 5.2.4.12. Los Cabrerros.

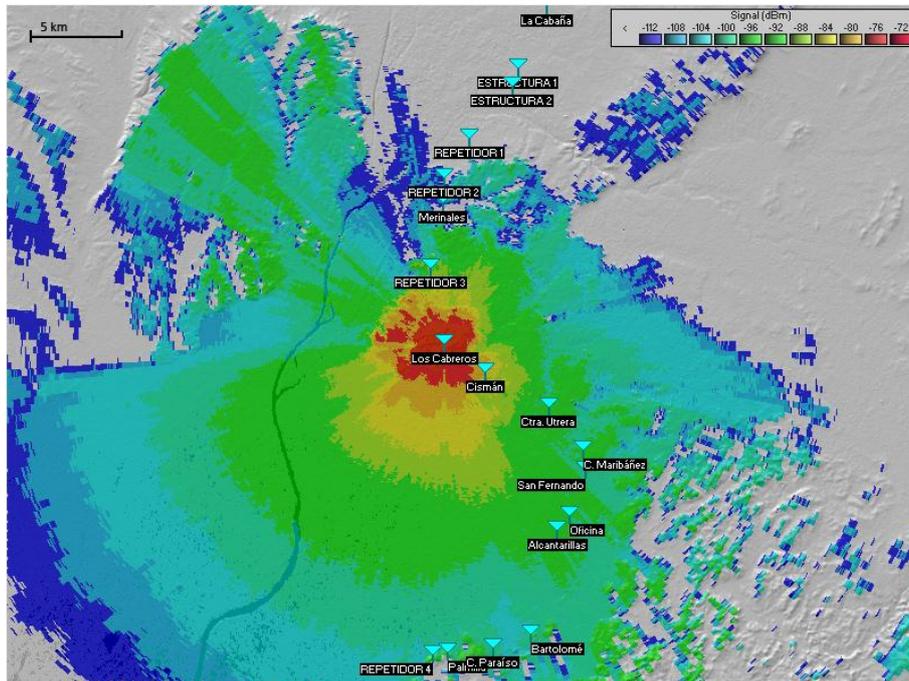


Figura 5.95: Diagrama de cobertura de Los Cabrerros.

### 5.2.4.13. Cismán.

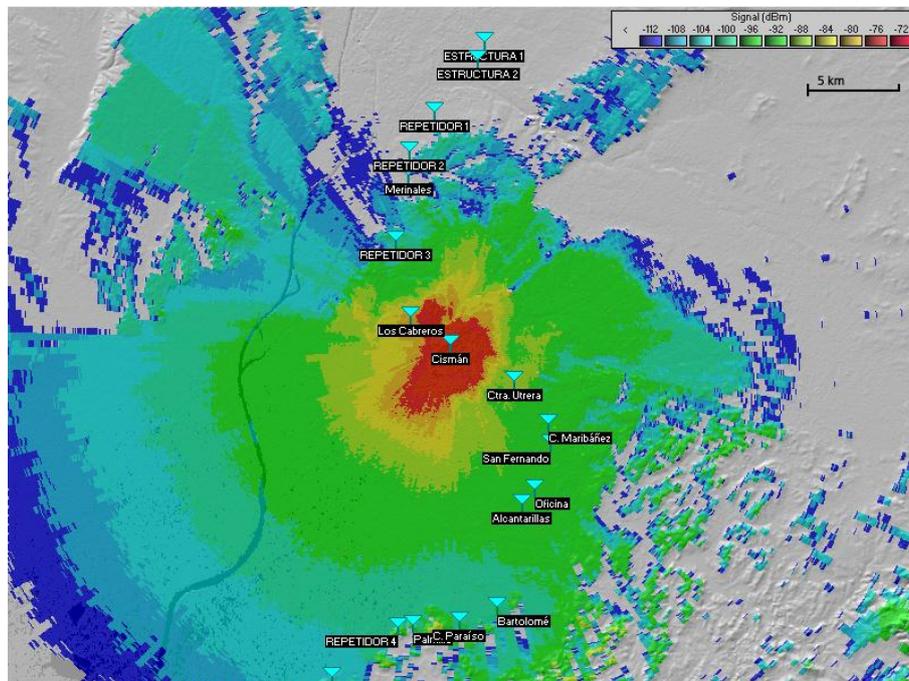


Figura 5.96: Diagrama de cobertura de Cismán.

#### 5.2.4.14. Ctra. Utrera.

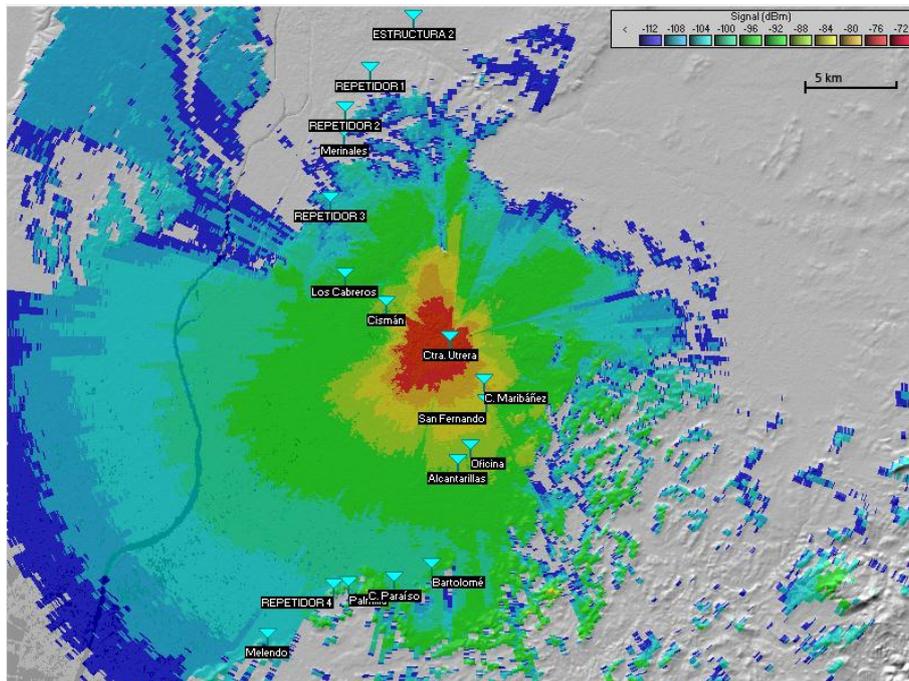


Figura 5.97: Diagrama de cobertura de Ctra. Utrera.

#### 5.2.4.15. C. Maribáñez.

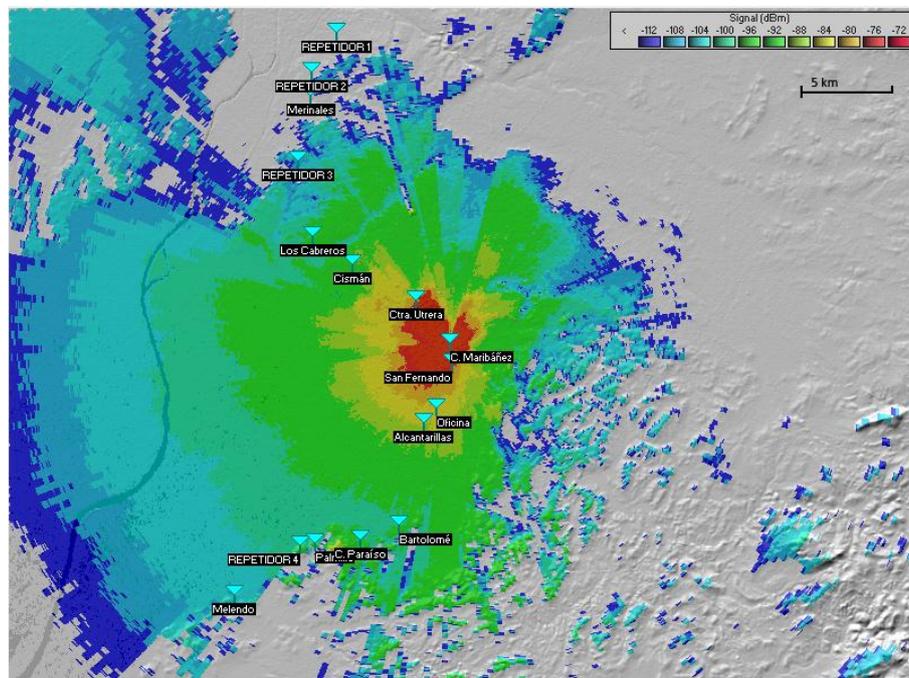


Figura 5.98: Diagrama de cobertura de C. Maribáñez.

### 5.2.4.16. San Fernando.

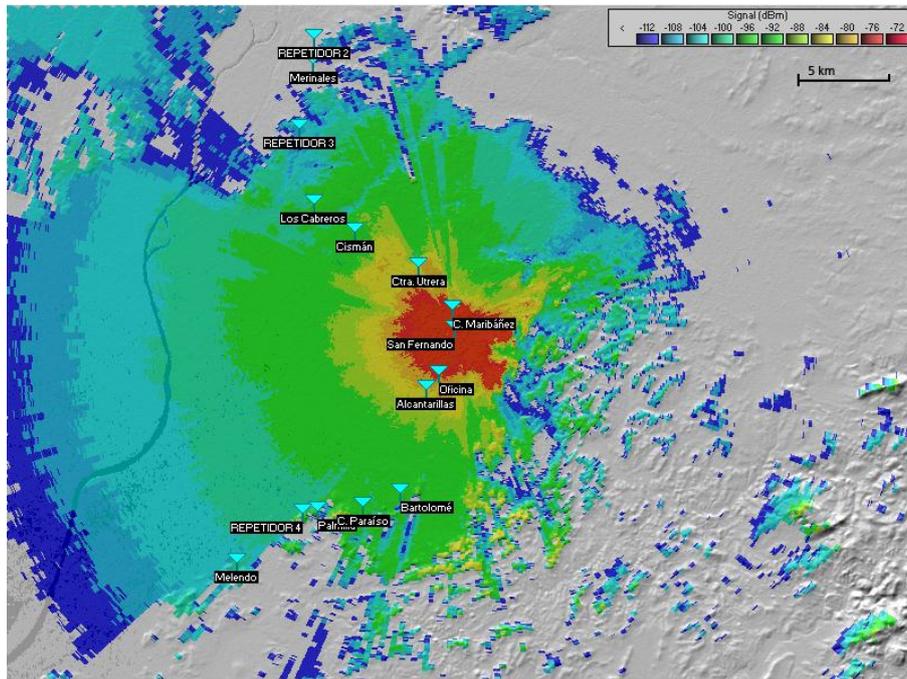


Figura 5.99: Diagrama de cobertura de San Fernando.

### 5.2.4.17. Oficina.

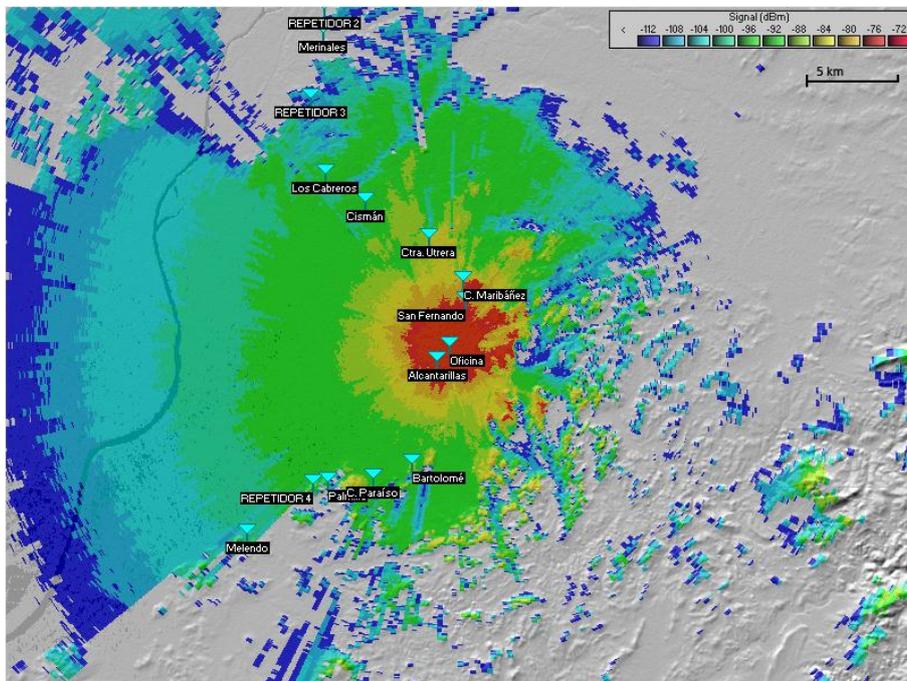


Figura 5.100: Diagrama de cobertura de Oficina.

#### 5.2.4.18. Alcantarillas.

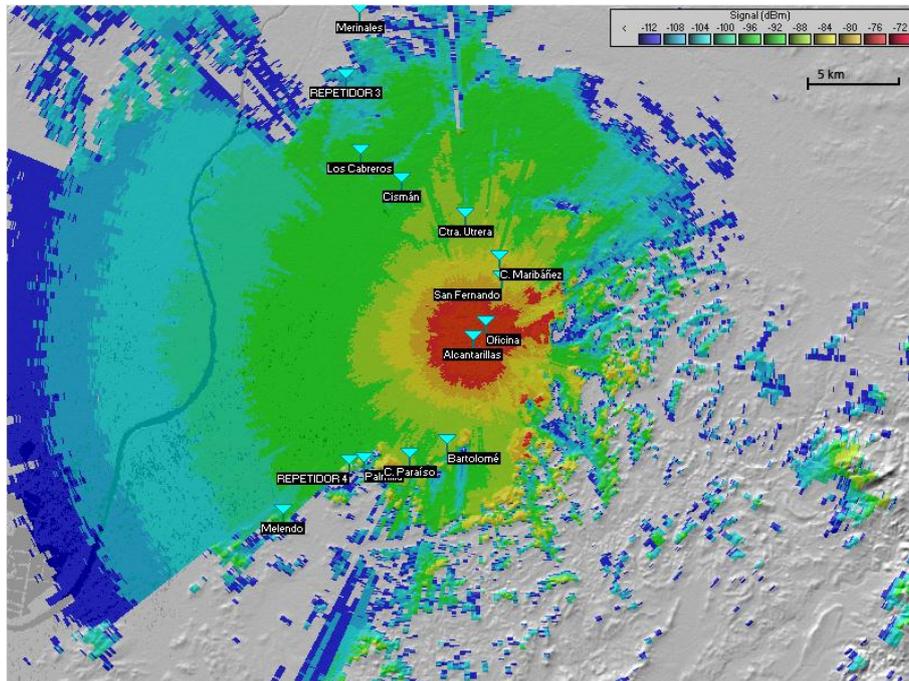


Figura 5.101: Diagrama de cobertura de Alcantarillas.

#### 5.2.4.19. Bartolomé.

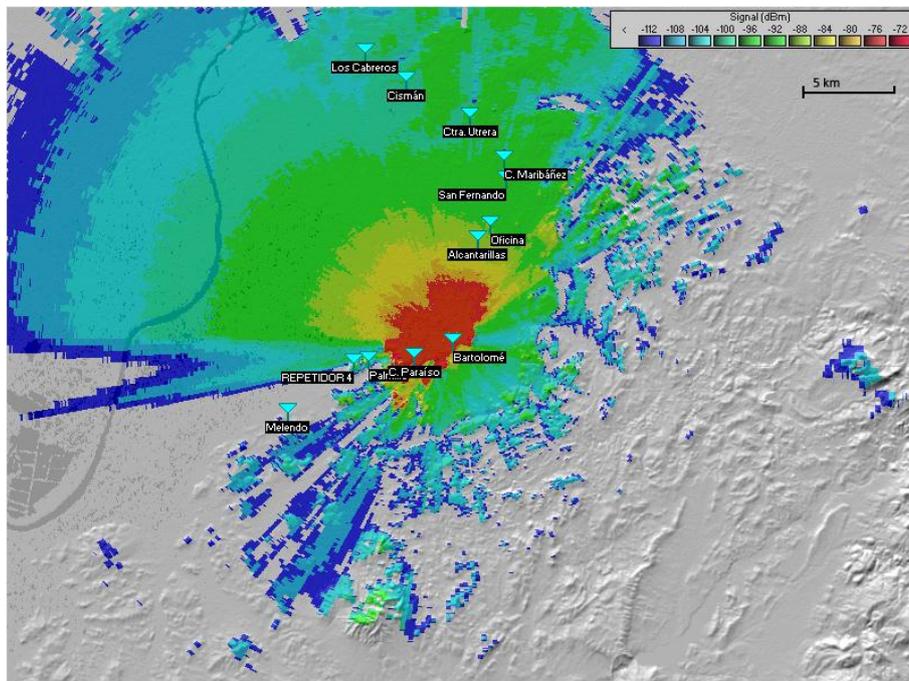


Figura 5.102: Diagrama de cobertura de Bartolomé.

#### 5.2.4.20. C. Paraíso.

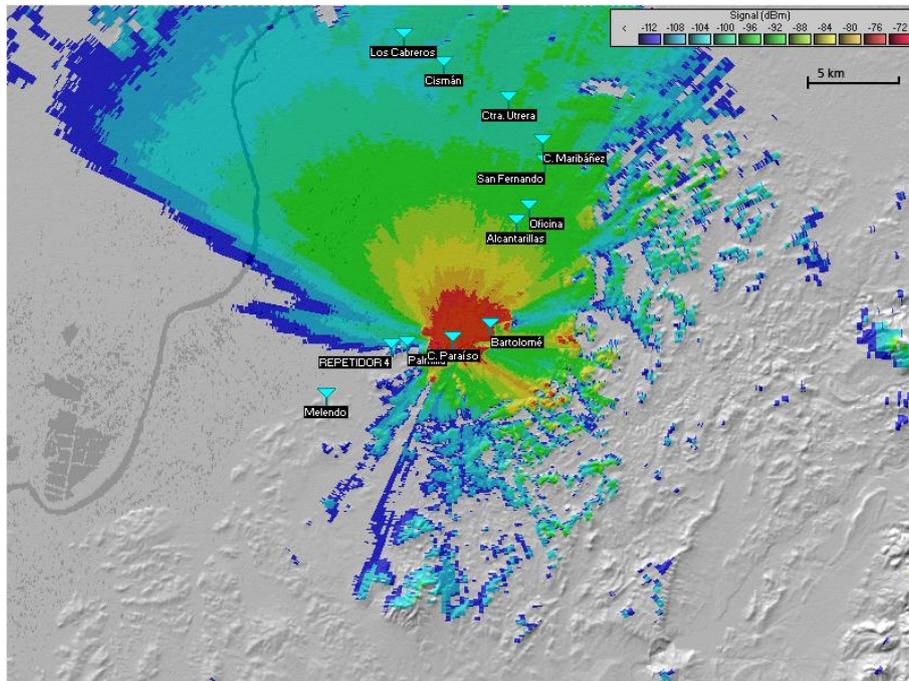


Figura 5.103: Diagrama de cobertura de C. Paraíso.

#### 5.2.4.21. Palmilla.

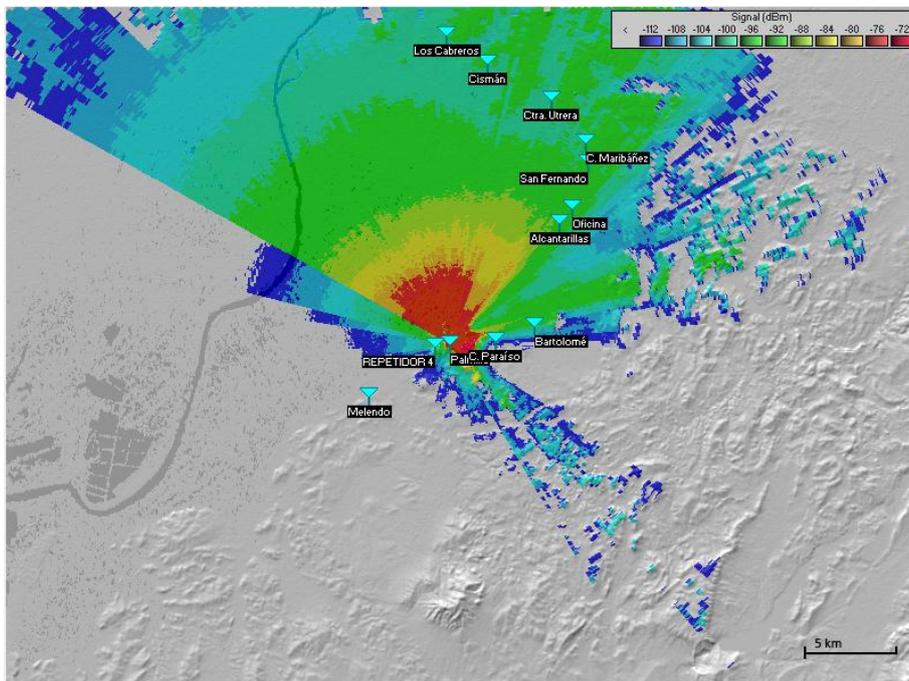


Figura 5.104: Diagrama de cobertura de Palmilla.

#### 5.2.4.22. Repetidor 4.

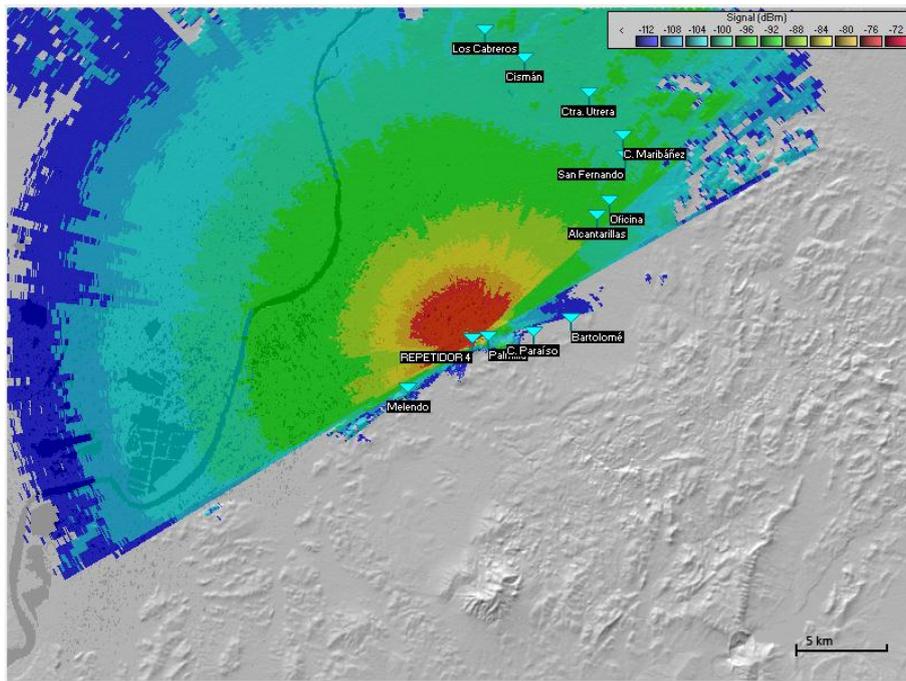


Figura 5.105: Diagrama de cobertura de Repetidor 4.

#### 5.2.4.23. Melendo.

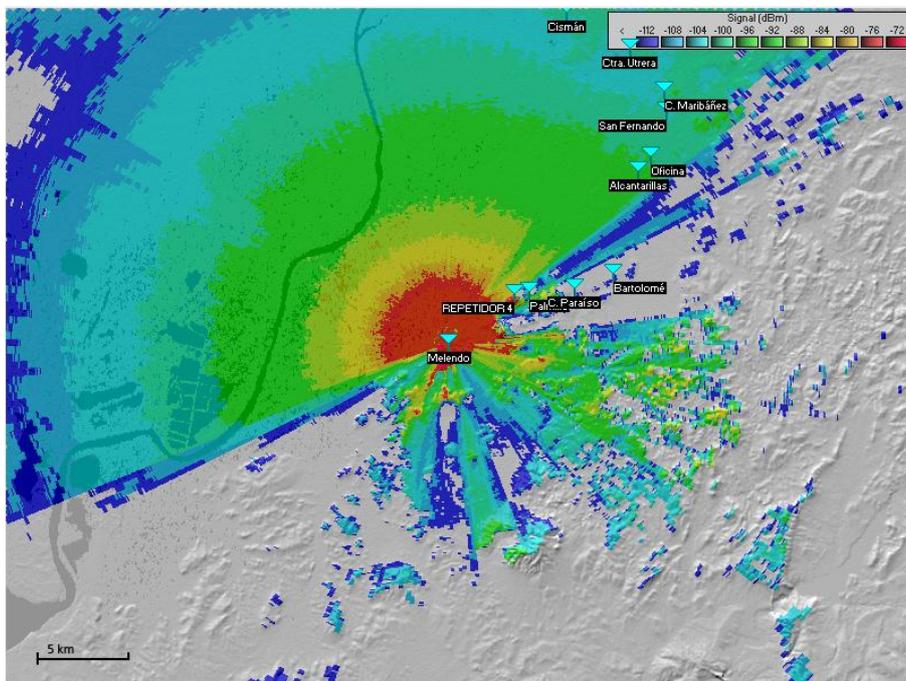


Figura 5.106: Diagrama de cobertura de Melendo.

### 5.2.5. Diagramas de la red.

En este apartado se muestra de manera esquemática cómo queda la topología de la red una vez realizada la planificación de los radioenlaces. En estos diagramas se puede ver claramente la redundancia existente en la red y dónde están los puntos críticos de la misma. Los puntos críticos son los cuales en los que la redundancia es más baja y los enlaces de respaldo son de peor calidad.

El diagrama de la red se presenta en dos partes (figuras 5.85 y 5.86) en las cuales se muestran:

- *Radioenlaces primarios:* líneas negras.
- *Radioenlaces secundarios con nivel de señal recibida mayor que la sensibilidad del receptor más link margin:* líneas de puntos verdes.
- *Radioenlaces secundarios con nivel de señal recibida mayor que la sensibilidad del receptor:* líneas de puntos naranjas.
- *Radioenlaces secundarios con nivel de señal ligeramente inferior a la sensibilidad del receptor:* líneas de puntos rojas.

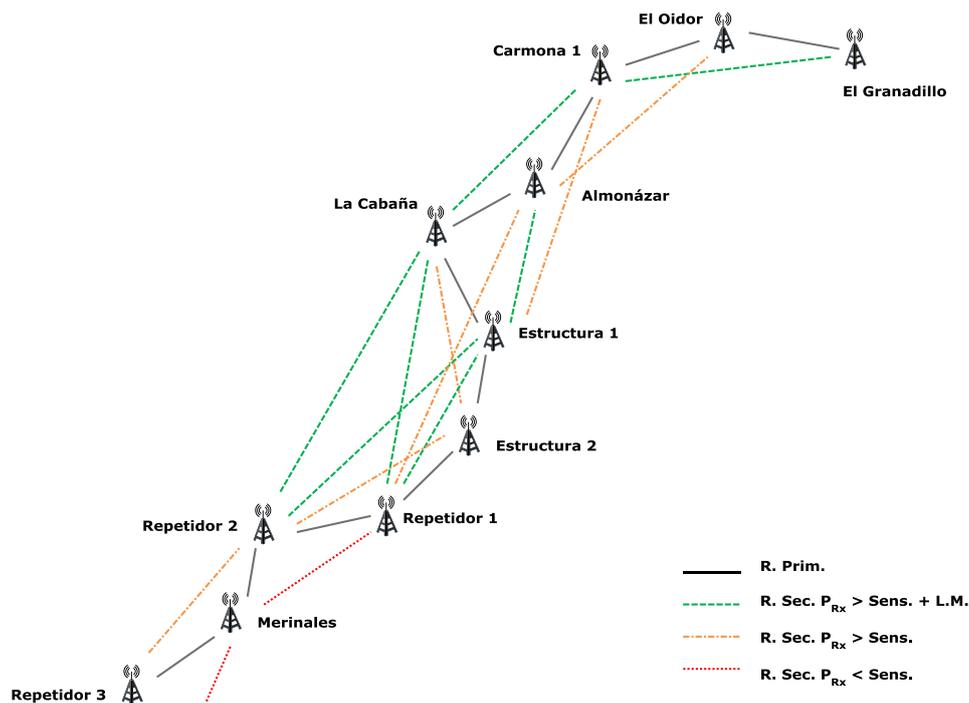


Figura 5.107: Diagrama de la red (Parte 1).

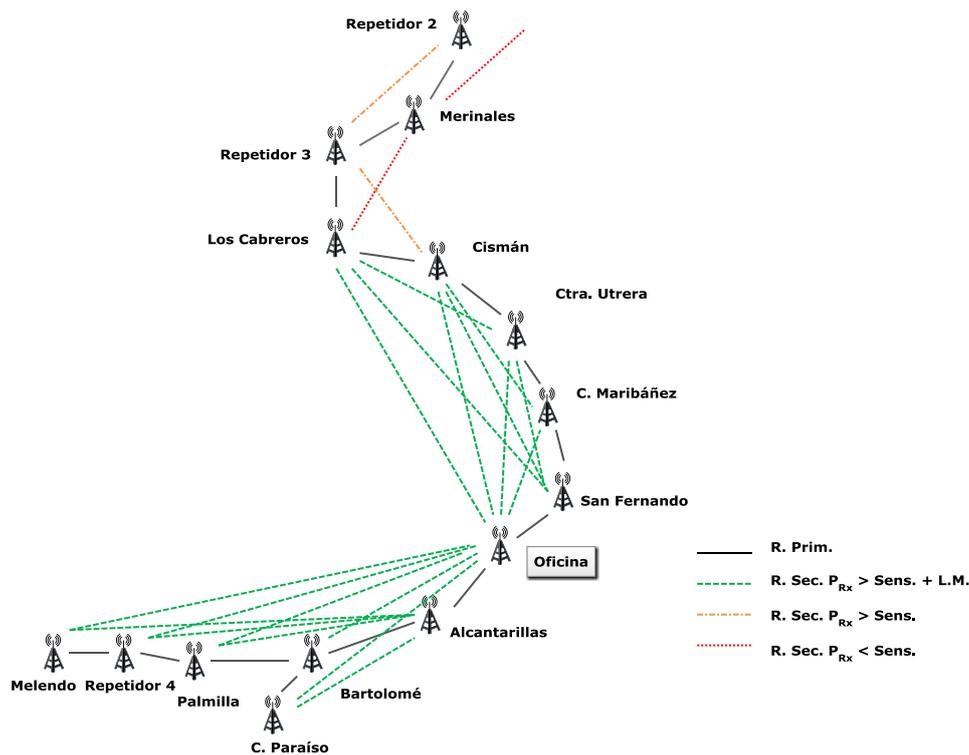


Figura 5.108: Diagrama de la red (Parte 2).

### 5.2.6. Conclusiones.

De los apartados anteriores se pueden sacar las siguientes conclusiones:

- Haciendo una valoración de la calidad de los radioenlaces primarios y de respaldo: Un 84% de los radioenlaces supera el link margin, 12.5% sólo supera la sensibilidad del receptor y un 3.5% está ligeramente por debajo de la sensibilidad.
- La red goza de buena redundancia en los tramos 1, 2 y primer tercio del 3 y de excelente redundancia en el último tercio del tramo 3 y los tramos 4 y 5.
- La parte con menor redundancia de la red está en la mitad del tramo 3, donde se encuentran los puntos críticos.
- Los puntos críticos de la red son los Repetidores 1, 2 y 3 y Merinales. En especial, los más críticos son los Repetidores 2 y 3, puesto que si estos nodos caen, es muy difícil la comunicación entre la rama inferior y superior de la red. (Ver líneas rojas de puntos en las figuras 5.85 y 5.86).

Por último, decir que sin duda, sería deseable que no hubiera ningún punto crítico en la red, pero es necesario llegar a un compromiso entre el coste del despliegue de los nodos y la redundancia de la red. La zona de Merinales, por su orografía y las zonas urbanas presentes en ella, resulta difícil de interconectar con enlaces redundantes. La única solución sería situar una gran cantidad de repetidores a distancias muy cortas, pero ello incrementaría notablemente el coste de la red y rompería el compromiso entre el coste y la redundancia de red.

### 5.3. Diseño alternativo.

En este apartado se presenta una alternativa al diseño inicial propuesto.

En esta alternativa se supone el mismo diseño de red realizado en el apartado 5.2., pero usando mástiles de 2 m, en lugar de 4 m. La ventaja es que son más económicos y fáciles de instalar. El resto de parámetros de configuración del simulador no cambia.

Tipo de nodo	Altura
Oficina Central	8 m
Almenara	6 m
Estructura	6 m
Caudalímetro	4 m
Repetidor	2 m

Tabla 5.4: Altura de las antenas según ubicación (Mástiles de 2 m).

#### 5.3.1. Resumen de radioenlaces primarios.

Tramo	Radioenlace	Longitud [Km]	Link Margin <sup>(1)</sup> [dB]	P <sub>RX</sub> (Sens.) <sup>(2)</sup> [dB]	P <sub>RX</sub> (Link M.) <sup>(3)</sup> [dB]
1	El Granadillo – El Oidor	5.47	10	20.8	10.8
1	El Oidor – Carmona 1	5.54	10	25.8	15.8
2	Carmona 1 – Almonázar	6.19	10	13.4	3.4
2	Almonázar – La Cabaña	7.26	15	16.6	1.6
3	La Cabaña – Estructura 1	5.04	10	26.2	16.2
3	Estructura 1 – Estructura 2	1.38	15	15.5	0.5
3	Estructura 2 – Repetidor 1	4.98	15	20.2	5.2
3	Repetidor 1 – Repetidor 2	3.43	15	20.3	5.3
3	Repetidor 2 – Merinales	1.81	15	16.8	1.8
3	Merinales – Repetidor 3	4.95	10	14.2	4.2
3	Repetidor 3 – Los Cabreros	5.67	10	13.7	3.7
3	Los Cabreros – Cismán	3.61	10	26.7	16.7
4	Cismán – Ctra. Utrera	5.38	10	21.7	11.7
4	Ctra. Utrera – C. Maribáñez	4.03	10	28.9	18.9
4	C. Maribáñez – San Fernando	1.48	10	38.3	28.3
4	San Fernando – Oficina	3.56	10	35.1	25.1
4	Alcantarillas – Oficina	1.42	10	44.9	34.9
5	Bartolomé – Alcantarillas	7.85	10	24.1	14.1
5	C. Paraíso – Bartolomé	2.98	10	37.8	27.8
5	Palmilla – Bartolomé	6.3	10	17.5	7.5
5	Repetidor 4 – Palmilla	1.11	10	15.2	5.2
5	Melendo – Repetidor 4	6.06	10	19.5	9.5

Tabla 5.5: Resumen de radioenlaces primarios (Alternativa 1).

### 5.3.2. Resumen de radioenlaces secundarios.

Tramo	Nodo origen	Nodo destino	Longitud [Km]	Link Margin <sup>(1)</sup> [dB]	P <sub>RX</sub> (Sens.) <sup>(2)</sup> [dB]	P <sub>RX</sub> (Link M.) <sup>(3)</sup> [dB]
1	El Granadillo	Carmona 1	11	10	13.4	3.4
1	El Oidor	Almonázar	5.54	10	4.0	-6.0
2	Carmona 1	La Cabaña	12.58	10	11.0	1.0
		Estructura 1	17.55	10	7.2	-2.8
2	Almonázar	Estructura 1	11.89	10	11.3	1.3
		Repetidor 1	17.65	15	3.0	-12.0
2	La Cabaña	Repetidor 1	11.28	15	16.8	1.8
		Repetidor 2	14.71	15	8.0	-7.0
		Estructura 2	6.1	15	3.2	-11.8
3	Estructura 1	Repetidor 1	6.29	15	14.9	-0.1
		Repetidor 2	9.72	15	3.2	-11.8
3	Estructura 2	Repetidor 2	8.39	15	3.0	-12.0
3	Repetidor 1	Merinales	5.08	10	-0.4	-10.4
3	Repetidor 2	Repetidor 3	6.74	15	1.9	-13.1
3	Merinales	Los Cabreros	10.43	10	-3.1	-13.1
3	Repetidor 3	Cismán	8.64	10	6.7	-3.3
3	Los Cabreros	Oficina	15.66	10	15.0	5.0
		Ctra. Utrera	8.98	10	14.7	4.7
		San Fernando	13.94	10	14.1	4.1
3	Cismán	C. Maribáñez	9.24	10	19.3	9.3
		San Fernando	10.36	10	18.9	8.9
		Oficina	12.31	10	18.8	8.8
4	Ctra. Utrera	San Fernando	5.36	10	27.1	17.1
		Oficina	8.14	10	24.7	14.7
4	C. Maribáñez	Oficina	4.93	10	29.4	19.4
5	Bartolomé	Oficina	9.14	10	22.1	12.1
5	C. Paraíso	Alcantarillas	9.83	10	21.3	11.3
		Oficina	11.23	10	19.7	9.7
5	Palmilla	Alcantarillas	12.03	10	20.5	10.5
		Oficina	13.45	10	18.8	8.8
5	Repetidor 4	Alcantarillas	12.9	10	19.6	9.6
		Oficina	14.32	10	17.6	7.6
5	Melendo	Alcantarillas	18.91	10	15.2	5.2
		Oficina	20.32	10	14.4	4.4

#### **Leyenda.**

<sup>(1)</sup> Link Margin tenido en cuenta en la planificación del radioenlace. 10 dB en caso de zonas rurales y 15 dB en caso de zonas urbanas o suburbanas.

<sup>(2)</sup> P<sub>RX</sub> (Sens.). Potencia recibida relativa a la sensibilidad del receptor (-112 dBm).

<sup>(3)</sup> P<sub>RX</sub> (Link M.). Potencia recibida relativa a la sensibilidad del receptor más el link margin (-112 dBm + 10 o 15 dB).

### 5.3.3. Diagramas de red.

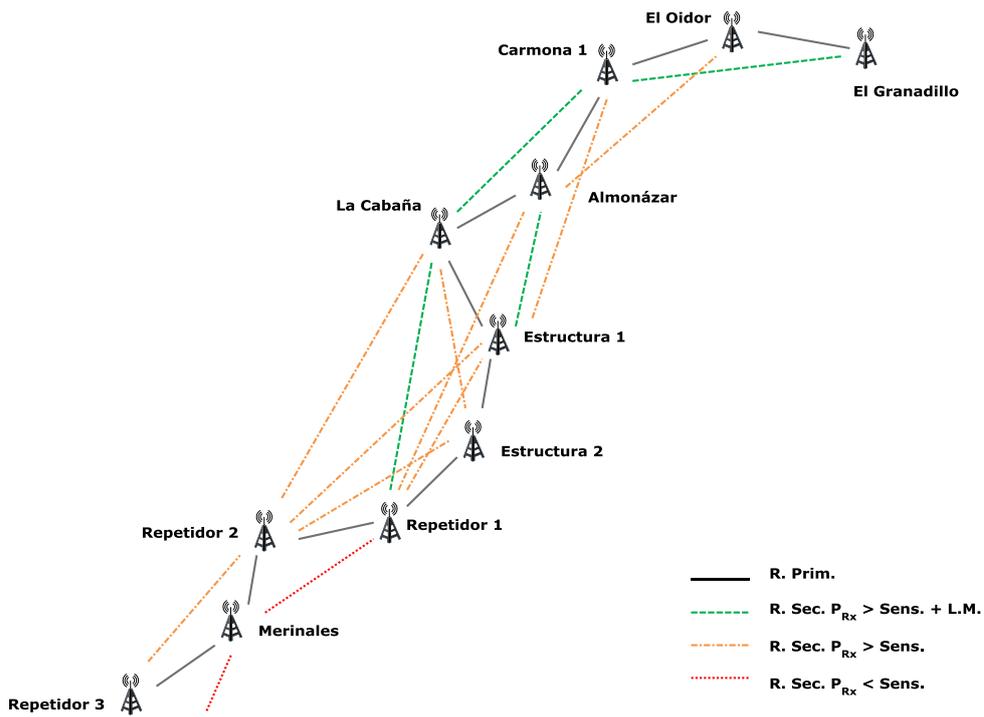


Figura 5.109: Diagrama de la red (Alternativa 1 - Parte 1).

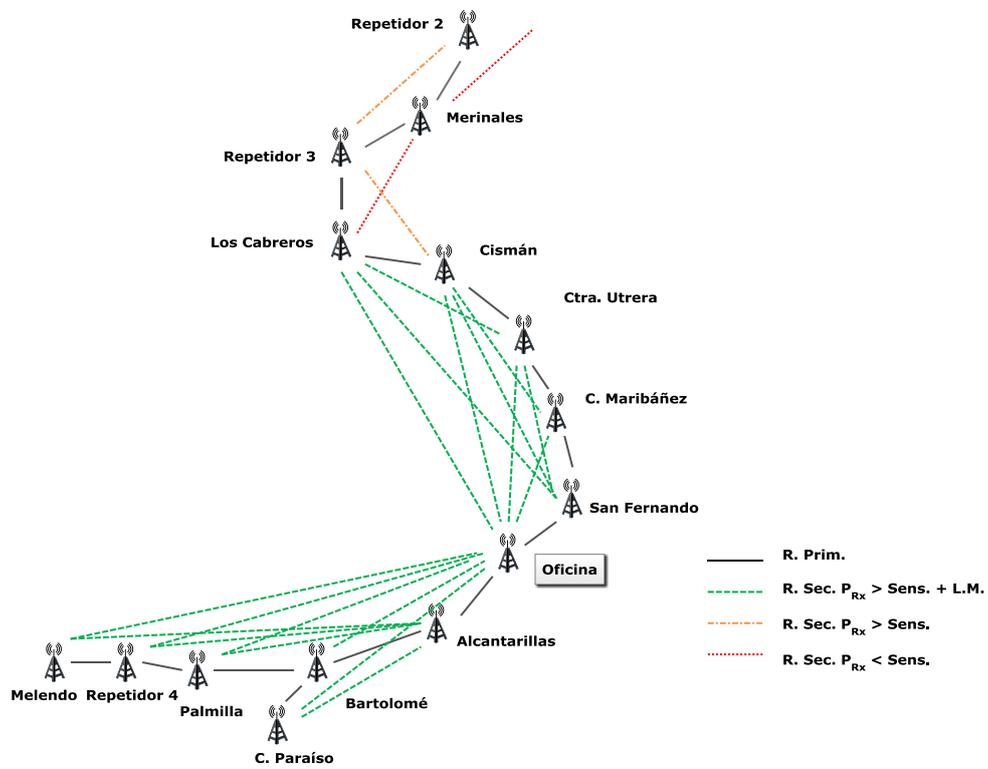


Figura 5.110: Diagrama de la red (Alternativa 1 - Parte 2).

### 5.3.4. Conclusiones.

Esta alternativa muestra mástiles menos aparatosos que la alternativa inicial, más fáciles de colocar y más económicos.

Por otra parte, presenta una serie de inconvenientes que se pueden deducir de los resultados de las simulaciones realizadas en este apartado:

- En general, empeora ligeramente la calidad de los enlaces.  
Esto es debido a que al bajar la altura de las antenas sobre el suelo, el primer elipsoide de Fresnel se ve más obstruido que en el diseño inicial.  
En algunos casos, la propagación pasa de LOS a NLOS, y en términos de modos de propagación de Longley-Rice pasa de propagación LOS a Diffraction. Esto se puede ver en las figuras 5.88 y 5.89.

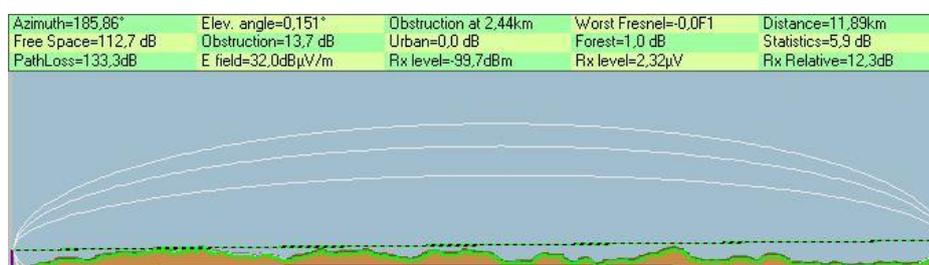


Figura 5.111: Radioenlace Almonázar – Estructura 1. Diseño inicial. Modo LOS.

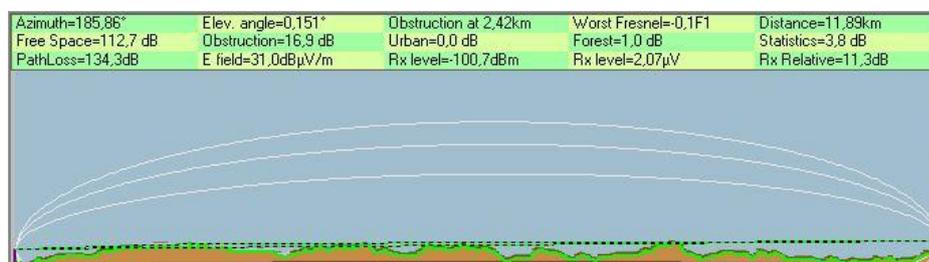


Figura 5.112: Radioenlace Almonázar – Estructura 1. Diseño inicial. Modo Diffraction (NLOS).

- La redundancia disminuye ligeramente en los tres primeros tramos, manteniéndose igual sólo en los tramos 4 y 5.
- Valorando de nuevo la calidad de los radioenlaces primarios y de respaldo: Un 82.12% de los radioenlaces supera el link margin, 14.38% sólo supera la sensibilidad del receptor y un 3.5% está ligeramente por debajo de la sensibilidad.

En definitiva, con esta alternativa se consigue unos enlaces de calidad aproximadamente igual a los del diseño inicial y la redundancia se mantiene también más o menos.