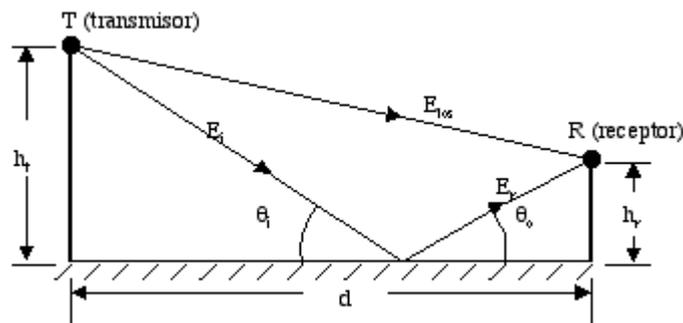


## 8. - ESTUDIO DEL ENLACE RADIO

### 8.1 – INTRODUCCIÓN AL MODELO DE TERRENO IRREGULAR Y AL MÉTODO LONGLEY-RICE

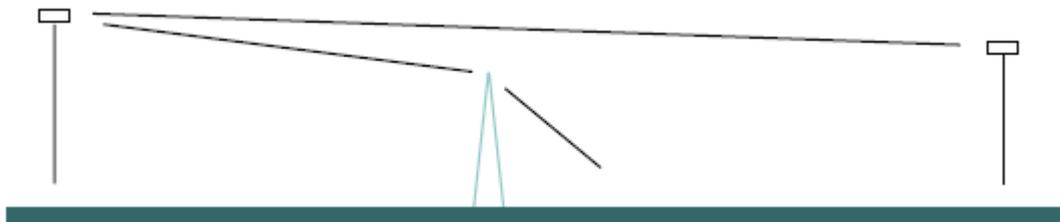
El modelo de terreno irregular (ITM) realiza una estimación de las pérdidas promedio debidas a la propagación basándose en la información sobre la geometría del terreno entre transmisor y receptor y en las características refractivas de la troposfera. El valor de atenuación que calcula es siempre una función continua de la distancia recorrida.

Para predecir la potencia de la señal dentro del “horizonte” (LOS, Line of Sight) se utiliza principalmente el modelo de reflexión terrestre de dos rayos. La región LOS es aquella donde la curvatura de la tierra no interrumpe la línea directa de propagación de ondas pero sí pueden existir obstrucciones de otro tipo.



**Figura 8.1 – Modelo de reflexión de dos rayos**

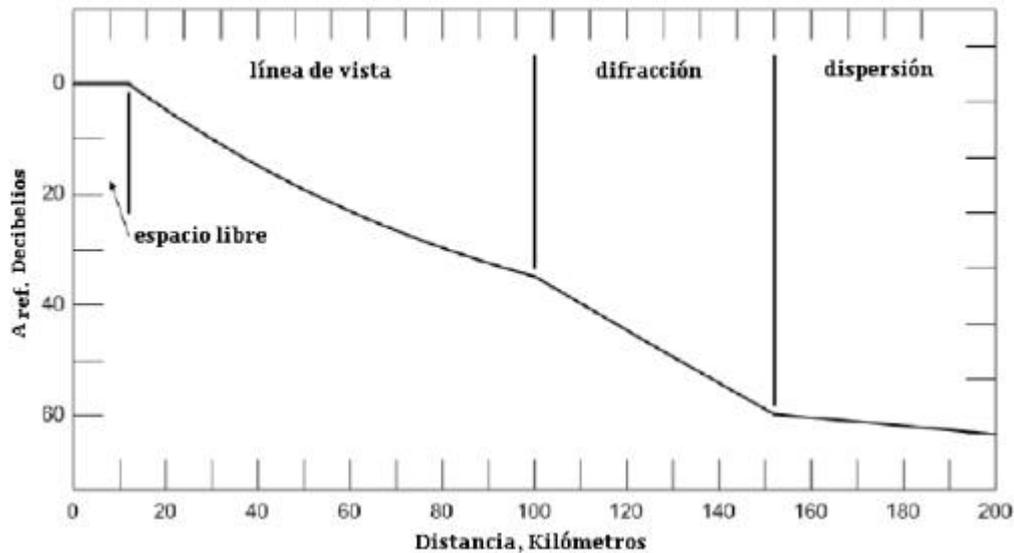
Las pérdidas por difracción en obstáculos aislados son estimadas utilizando el modelo “fillo de cuchillo” (Knife Edge) de Fresnel-Kirchoff.



**Figura 8.2 – Modelo “fillo de cuchillo”**

El modelo también analiza los fenómenos de dispersión en la troposfera para poder hacer predicciones sobre largas distancias. Las pérdidas de difracción en el campo lejano a distancias del doble del horizonte son predecibles utilizando el método de Van der Pol-Bremmer modificado.

El método Longley-Rice trabaja en dos modos: uno es cuando se dispone de una detallada descripción del perfil del terreno, facilitando la obtención de parámetros de propagación, a esto se le conoce como modo de predicción punto a punto. El otro es cuando no se dispone del perfil del terreno, para lo cual el método dispone de técnica para estimar los parámetros específicos, a este modo se le conoce como predicción de área. No se considera el efecto de edificios, árboles, ... Radio Mobile usa siempre el primer modo de trabajo.



**Figura 8.3 – Relación entre la atenuación considerada por el modelo Longley-Rice frente a la distancia**

En muchos casos, es necesario obtener una media de la atenuación referida a las condiciones climáticas de un lugar durante el transcurso de un año. Para ello, el modelo determina un promedio estadístico de atenuación para cada uno de los tipos de clima especificados. Para estos cálculos el modelo utiliza tratamientos teóricos de reflexión sobre terreno accidentado, refracción a través de una atmósfera estándar, difracción alrededor de la tierra y sobre obstáculos agudos, y dispersión troposférica. Esta combinación de teoría elemental y datos experimentales por una parte, dan origen a un modelo semi-empírico que cumple con las leyes físicas lo suficientemente bien como para extrapolar los resultados a partir de unos valores de referencia con un buen grado de fiabilidad

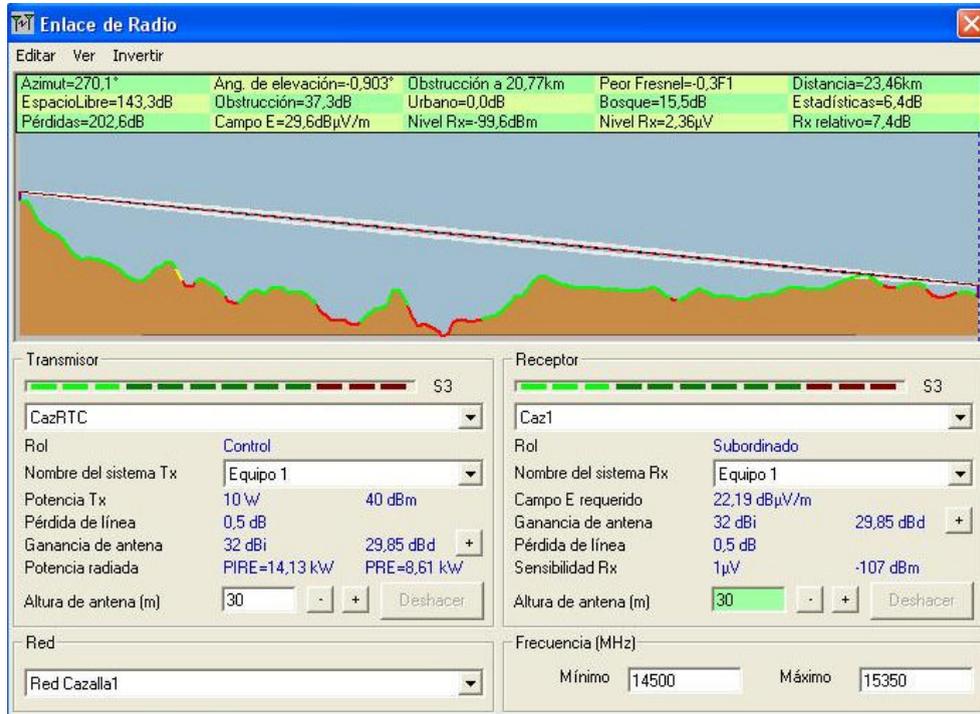
## 8.2 – RADIO LINK COMO HERRAMIENTA

A la utilidad “Radio Link” se accede en la barra de tareas: Herramientas > Enlace de radio. La ventana asociada es el perfil del enlace radio entre una estación transmisora y receptora que podemos seleccionar de la lista de unidades que se hayan definido, tal y como observamos en la figura 8.4. En la parte inferior vemos las condiciones generales que habíamos fijado para los equipos que intervienen en el radioenlace, probablemente los únicos datos añadidos a lo que ya conocíamos sean la PIRE (Potencia Isótropa Radiada Equivalente) y PRE (Potencia Radiada Efectiva). La altura de las antenas viene acompañada de unos botones de “+” y “-” para que veamos el efecto que supondría aumentar o disminuir la cifra escogida en la caracterización del sistema. También podemos modificar el rango de frecuencias y ver su repercusión en el enlace.

La parte superior de la figura está formada por 3 líneas de datos que son las que nos dan información sobre los resultados radio-eléctricos del enlace:

- Azimut y ángulo de elevación con el que se orienta la antena que transmite.
- Peor ángulo de Fresnel y distancia desde el transmisor al punto donde tiene lugar la obstrucción.
- Distancia total del radioenlace.

- Desglose de las pérdidas según la causa que las origina y valor global de pérdidas entre los dos extremos de la conexión.
- Campo E recibido y nivel de señal en el receptor, tanto en valores absolutos (dBm,  $\mu\text{V}$ ) como en valor relativo.



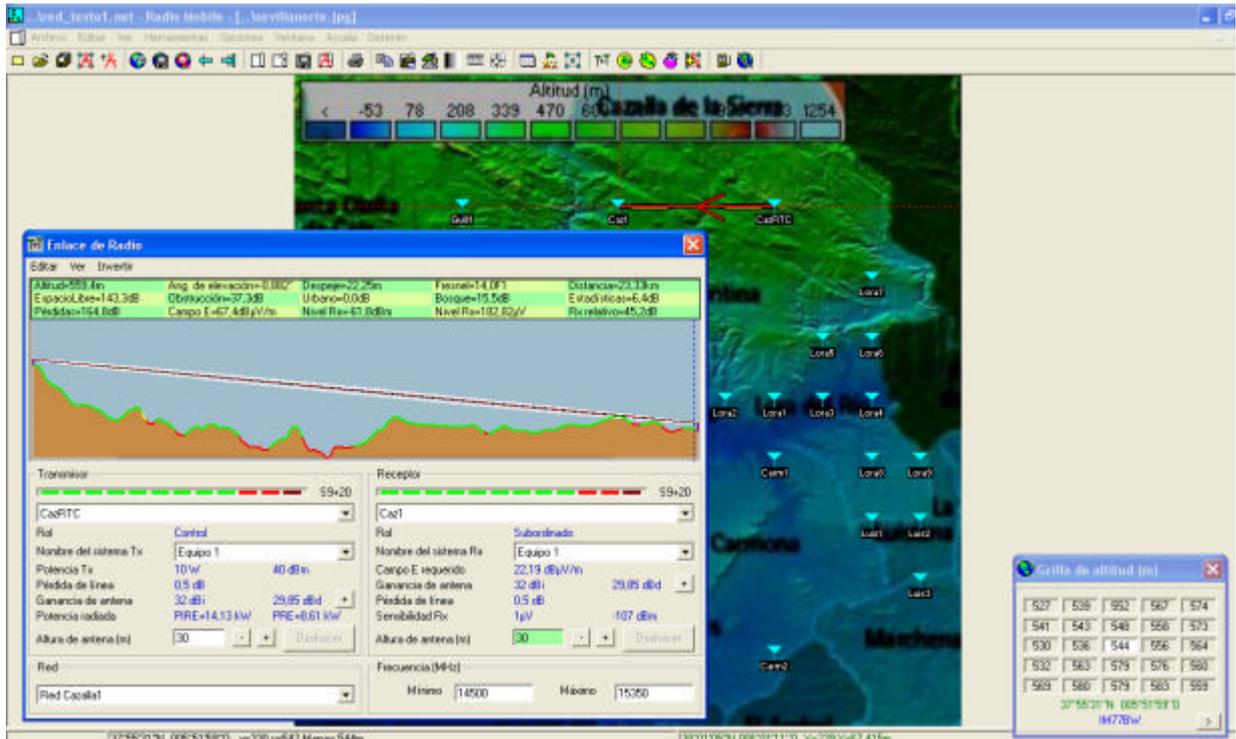
**Figura 8.4 – Ventana de “Enlace de Radio”**

## 8.2.1 – ANÁLISIS DE LOS RADIOENLACES PUNTO A PUNTO CON LA AYUDA DE RADIO LINK

### CAZALLA – GUILLENA:

En esta ocasión el enlace no es viable ya que el Rx relativo es de 7,4 dB, inferior a los 21 dB precisos. Si hacemos clic sobre el perfil de la zona mostrado por la herramienta podemos desplazar la línea azul punteada a lo largo de todo el recorrido que sigue la señal radio y los datos de la barra superior cambiarán adaptándose a lo que habríamos obtenido al colocar el receptor en ese lugar. Otra opción más cómoda es usar los cursores. A la vez que nos movemos en la ventana de Enlace Radio también hay una marca roja que viaja sobre el mapa de trabajo indicando la posición en la que estamos y en la barra de estado se muestran sus coordenadas.

Nos vamos a ir acercando al transmisor hasta encontrar el punto más próximo a la localización de Caz1 pero que sí cumpla las expectativas. En la figura 8.5 vemos que aunque en el nodo Caz1 no se recibe un nivel de señal aceptable, si nos situamos justo al lado ya estamos en “zona verde” con buenos valores de potencia recibida. Como curiosidad observamos que ya no tenemos “Obstrucción” sino “Despeje” que en este caso viene dado en metros y corresponde a la distancia entre la LOS y la altitud del suelo en la coordenada señalada.



Caz1 = 37°55'31''N 5°52'4''W ? Caz1' = 37°55'31''N 5° 51'59''W

Figura 8.5 – Enlace radio entre CazRTC y Caz1

Si vemos en el caso del radioenlace entre CazRTC y Guill1 mover un poco el nodo y tener cobertura no es una opción viable. Hay que echar mano de un equipo repetidor. La técnica seguida para encontrarle el sitio ideal será casi siempre buscar el punto más alto.

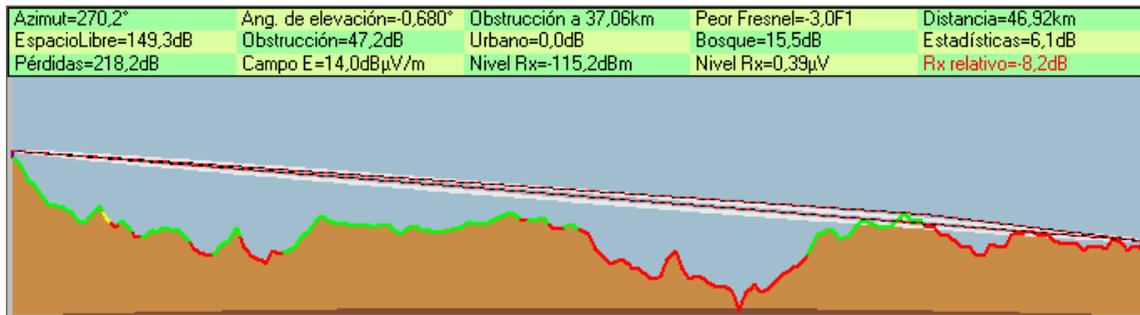
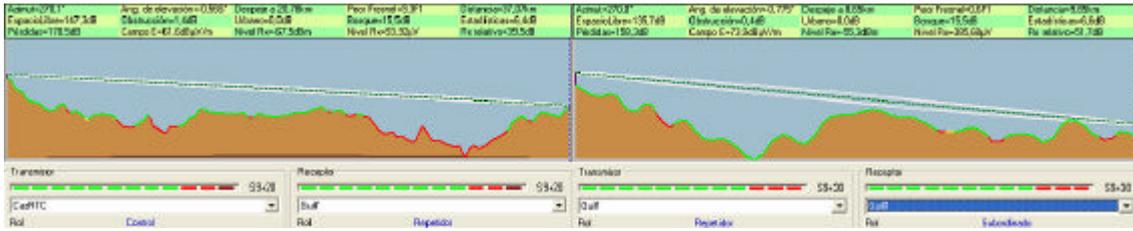


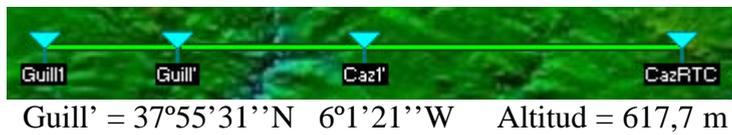
Figura 8.6 – Enlace radio entre CazRTC y Guill1

Podemos intentar poner el repetidor Guill' en el punto de la figura anterior donde el rayo se ve obstruido y salvaríamos este inconveniente.

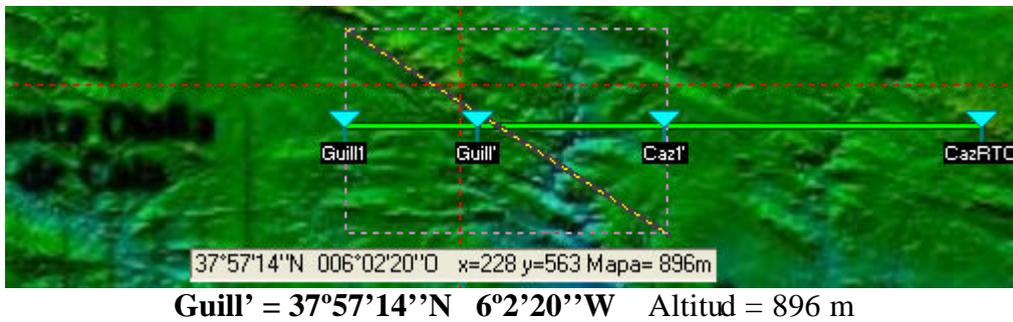


**Figura 8.7 – Efecto de introducir el repetidor Guill’ en el radioenlace**

Pero hay que tener en cuenta que tendríamos dos radioenlaces coalineados y que por mucho que alternemos la polarización entre ambos van a interferirse. Una solución sería usar Caz1’ como estación concentradora de tráfico hacia Guillena y intentar que Guill’ esté en el punto más alto de la zona intermedia entre Caz1’ y Guill1 pero sin tener que estar en la horizontal entre ambos. El método es seleccionar un rectángulo en la zona de interés y usar Ver > Encontrar la mayor altitud.



**Figura 8.8 – Primera opción para localizar Guill’**



**Figura 8.9 – Uso de “encontrar la mayor altitud” para emplazar Guill’**

Es sencillo comprobar que la opción segunda es la adecuada, ya que cuando intentemos enlazar Guill’ con los nodos B destino nos daremos cuenta que la altura del repetidor es crucial en esta ocasión. El paisaje es abrupto y montañoso y la gran distancia que separa los extremos de la comunicación va a empeorar la situación. La conclusión es que si hubiésemos tomado la vía inmediata Guill2 y Guill3 no podrían conectarse al repetidor pero la alternativa que hemos escogido nos permite que, desplazando ligeramente Guill2, todos los radioenlaces estén activos.



**Figura 8.10 – Comunicación inviable entre la primera opción de Guill’ y el resto de nodos de Guillena**

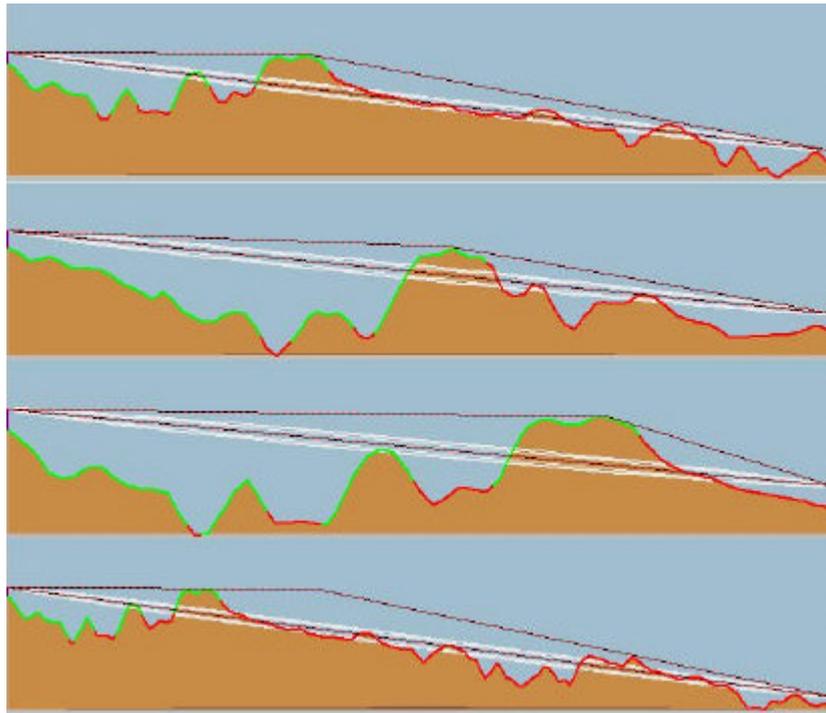


Guill2 = 37°39'31''N 6°8'4''W ? Guill2' = 37°39'48''N 6°7'59''W

**Figura 8.11 – Ligero desplazamiento del nodo Guill2 a Guill2'**

**ALCALA:**

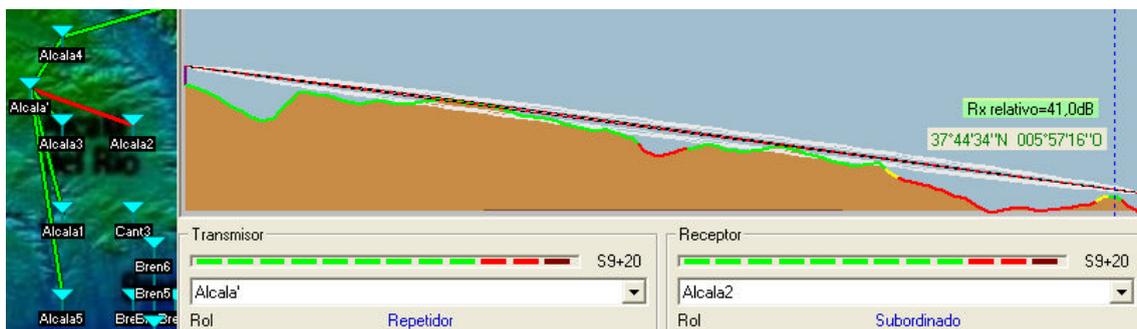
Seguimos en territorio accidentado y vamos a necesitar nuevamente superar el obstáculo que supone la orografía retransmitiendo la señal desde el pico más alto al que podamos acceder.



**Figura 8.12 – Enlace radio de Alcalá4 con Alcalá1, Alcalá2, Alcalá3 y Alcalá5 respectivamente**

**Alcalá' = 37°46'34''N 6°4'27''W Altitud = 518,8 m**  
 (Altitud de Alcalá4 = 464,2 m)

Alcalá' hará la función de repetidor y aunque se encuentra a poco más de 50 metros por encima de lo que estaba Alcalá4 vemos que el efecto se hace patente pues las dificultades que teníamos para llegar a todos los nodos B de Alcalá se reducen al nodo Alcalá2. Del mismo modo que actuamos con Guill2 trasladamos ligeramente este nodo de Alcalá.



**Alcalá2 = 37°44'31''N 5°57'4''W ? Alcalá2' = 37°44'34'' 5°57'16''W**

**Figura 8.13 – Cambio de coordenadas del nodo Alcalá2**

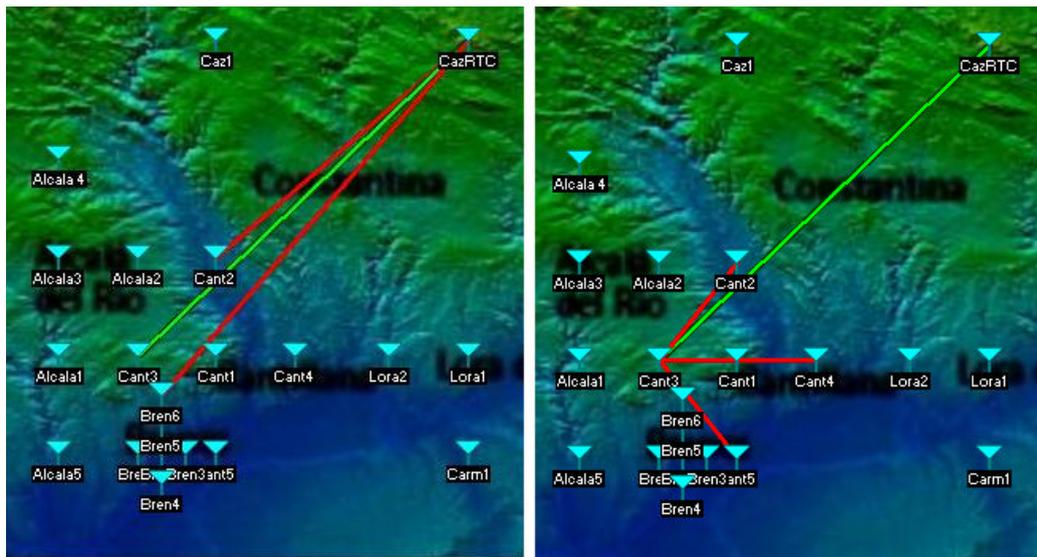
**CANTILLANA – BRENES:**

En el caso de estos dos municipios no hemos tenido suerte en nuestra elección de nodos B concentradores. Si nos damos cuenta el handicap para que el enlace se establezca sigue siendo la brecha de altitud existente entre la RNC y los designados como puntos de concentración.

		ALTITUD (m)					
Cantillana	Cant1	Cant2	Cant3	Cant4	Cant5	-	
	242,6	76,2	300,2	106,2	15,9		
Brenes	Bren1	Bren2	Bren3	Bren4	Bren5	Bren6	
	37,6	30,6	13,5	14,1	54,8	150,1	

**Tabla 8.1 – Altitudes de los nodos B pertenecientes a Cantillana y Brenes**

Estos dos municipios presentan valores muy dispares como se hace patente en la tabla. Aún habiendo elegido el nodo más alto de Brenes no conseguimos la conexión. Hay un factor añadido que debemos tener en cuenta y es la cercanía entre estos dos núcleos, lo que favorece que usando un único enlace radio podamos conectar todos los nodos de la zona con el controlador de Cazalla. Lo más inteligente será probar primero con Cant3.



**Figura 8.14 – Problemas para cubrir los nodos de Cantillana**

Desde Cant3 no llegamos al resto de nodos de Cantillana porque según nos muestra Radio Link en la figura 8.15 tenemos una montaña obstruyendo el paso de la señal radio, así que lo que se nos ocurre es subir el nodo a la cima de la montaña y radiar desde allí. Cantillana queda cubierta perfectamente por Cant3’.

Es importante fijarse en el hecho de que cuando desplazamos el cursor por la imagen del enlace radio las cifras superiores varían suponiendo que es el receptor lo que se sitúa en el punto marcado por la línea vertical discontinua. Si lo que vamos a mover es el transmisor, entendiendo como tal el equipo localizado a la izquierda en la figura del perfil, conviene usar antes la herramienta “Invertir” y veremos que la flecha que señala el sentido del radioenlace en el mapa de trabajo ha cambiado. En la figura 8.16 están caracterizadas las dos posibilidades.

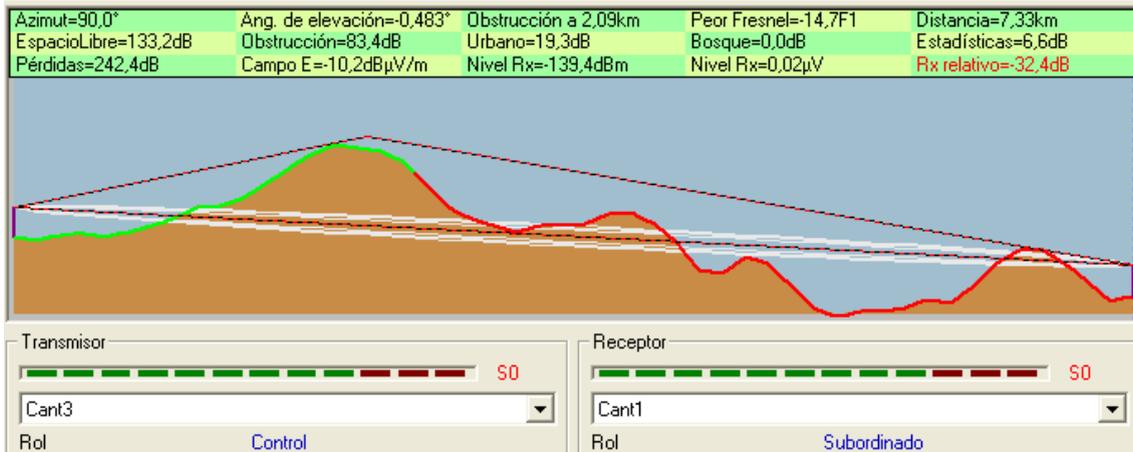


Figura 8.15 – Obstrucción de la señal en el enlace Cant3 – Cant1



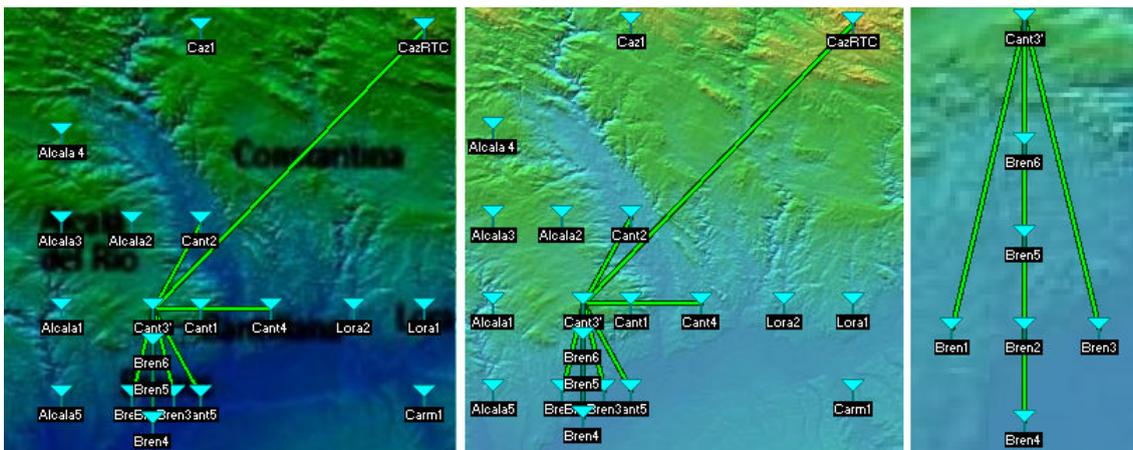
Cant3 = 37°39'31''N 5°57'4''W ? Cant3' = 37°39'31''N 5°55'35''W

Figura 8.16 – Uso de “invertir” para poder ver el efecto de desplazar el transmisor

Los radienlaces entre Cant3' y Brenes funcionan todos a la primera sin que tengamos que hacer ninguna modificación. Sólo hay una pega en esta disposición de enlaces y es que 4 de ellos están superpuestos y podemos tener graves dificultades con las interferencias. Las únicas medidas que podemos adoptar son las de tener especial cuidado en alternar las polarizaciones para que jueguen a nuestro favor y regular la

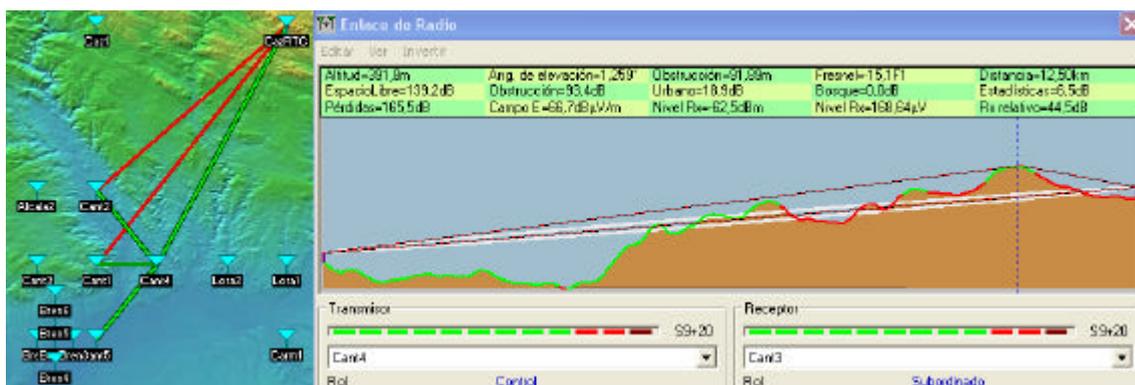
potencia de transmisión en su justa medida para que evitemos interferir a los demás nodos sin sentido. Hay que tener en cuenta que cuando implantemos los nodos en el terreno, su localización variará ajustándose a la realidad y seguramente no estén tan alineados como en la simulación. Por último debemos puntualizar que, cuando dos radioenlaces se superponen en una parte de su trayecto y uno es rojo y el otro verde, el programa nos muestra ese tramo de camino en rojo.

Los nodos B en la imagen se ven un poco aglomerados para el municipio de Brenes lo que nos dificulta ver claramente las conexiones, haremos un zoom seleccionando una cuadrícula y después pulsando el botón derecho del ratón, tal y como se muestra en la figura 8.17.



**Figura 8.17– Red definitiva Brenes – Cantillana**

Si analizamos brevemente las otras posibilidades de estructura de red en el caso de Cantillana sólo tendríamos una alternativa en Cant4 pero de todos modos para conectar Cant4 con Cant3 también hubiésemos tenido que mover igualmente ésta última a Cant3’.



**Figura 8.18 – Otra posibilidad de conexión: usar Cant4 como nodo concentrador**

Suponiendo que optásemos por Cant4 como nodo B concentrador para llegar a Brenes no lo tendríamos tan sencillo como ha resultado con Cant3’. Vemos en la figura 8.19 que para sacar adelante esta composición haría falta instalar dos repetidores, uno entre Cant4 y Bren3 y otro entre Cant4 y Bren6. Además el radioenlace entre Cant4 y Bren2 aparece en amarillo, porque los valores de potencia recibida relativa son muy ajustados.

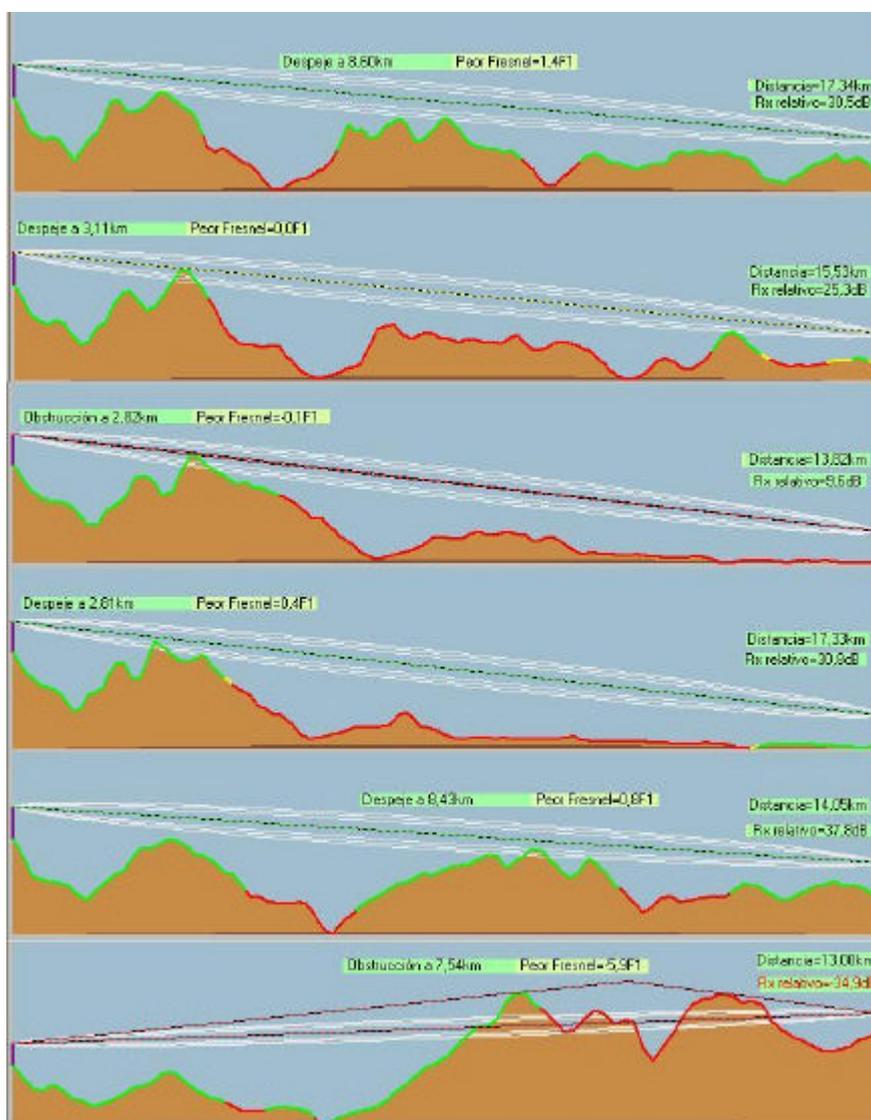
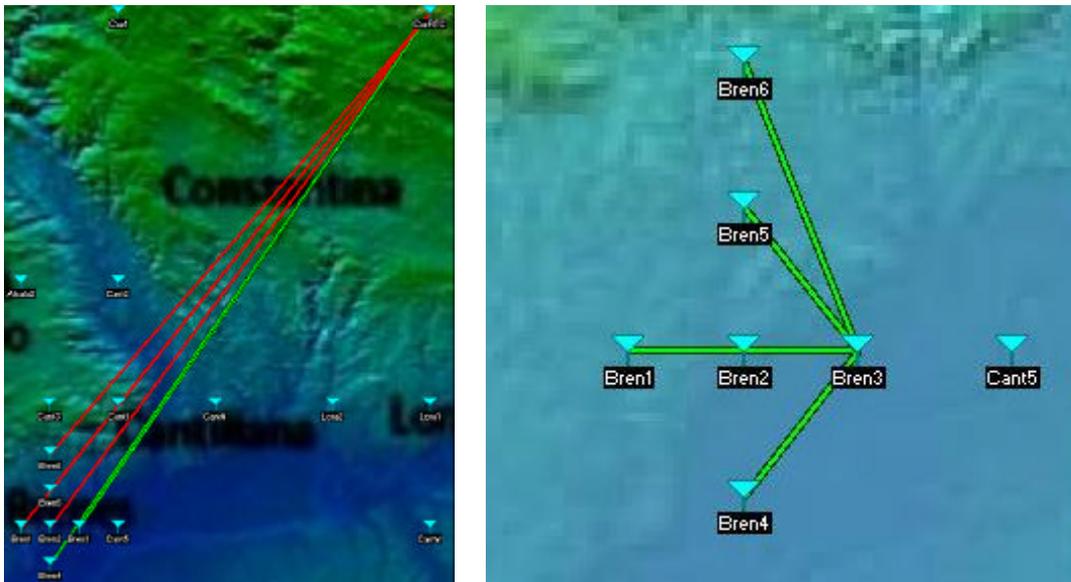


Figura 8.19 – Estudio de la alternativa de Cant4 y los radioenlaces con Brenes

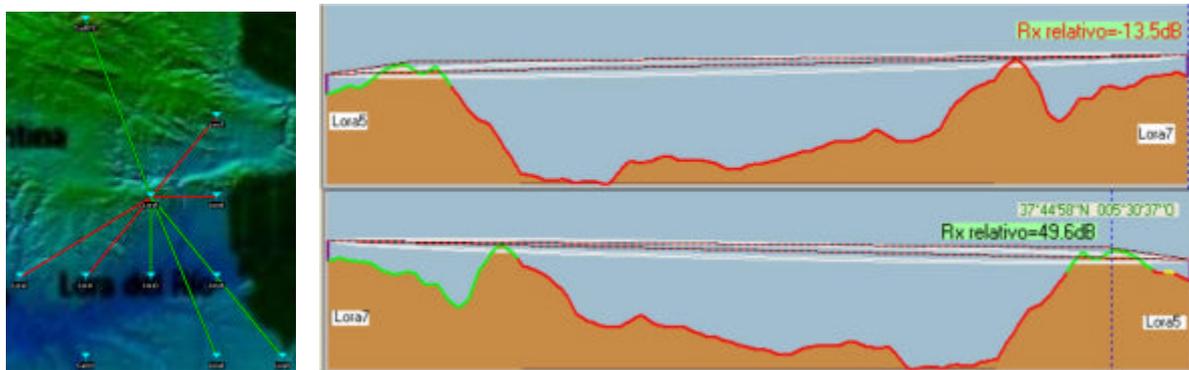
Si decidiésemos que finalmente preferimos usar una estación de Brenes para concentrar el tráfico del núcleo aparte, aunque esto suponga tener que levantar un nuevo radioenlace desde la RNC, los candidatos a nodo B concentrador serían Bren3 y Bren4.



**Figura 8.20 – Núcleo de Brenes conectado con CazRTC de forma independiente**

**LORA:**

Nuestra primera elección no ha sido acertada y no tardamos en ver una alternativa a nodo B concentrador en Lora5. Hay un pico que obstruye al rayo muy próximo a Lora5 por lo que vamos a colocarlo en esa coordenada y tendremos entonces Lora5'.

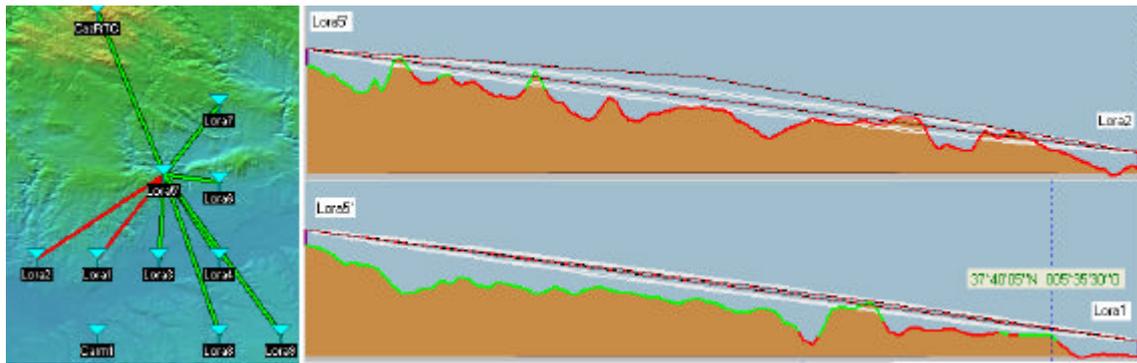


Lora5 = 37°44'31''N 5°31'4''W ? Lora5' = 37°44'58''N 5°30'37''W

**Figura 8.21 – Traslado de Lora5 a un pico de montaña**

Lora2 está inaccesible desde Lora5'. Creemos que una buena idea sería usar Lora2 como punto de concentración hacia Carmona en lugar de Carm1, de esa manera el enlace habría que establecerlo entre CazRTC y Lora2.

Lora1 sí es alcanzable desde Lora5' con un pequeño desplazamiento.

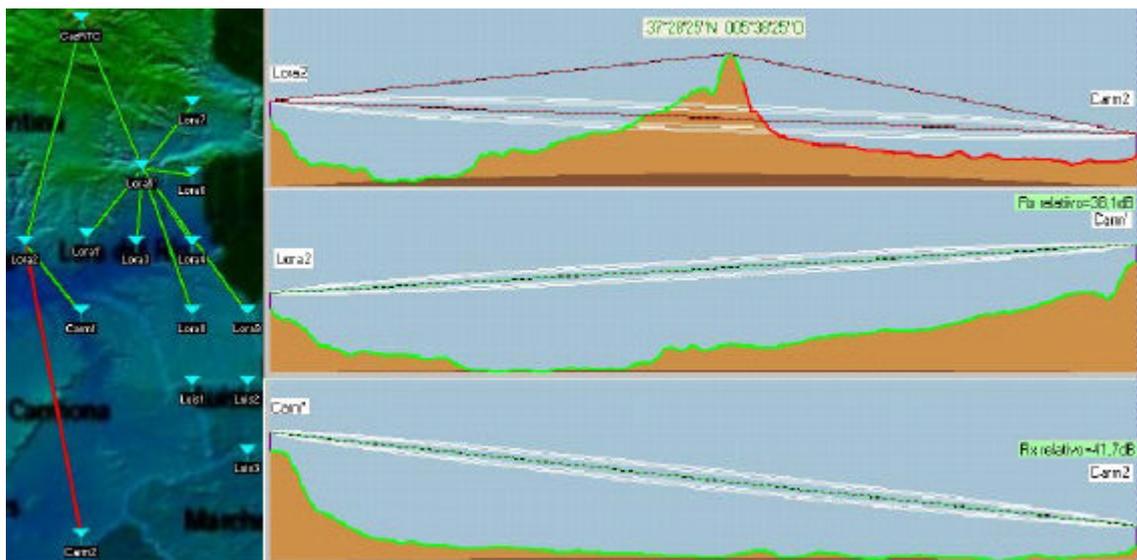


Lora1 = 37°39'31''N 5°36'4''W ? Lora1' = 37°40'5''N 5°35'30''W

Figura 8.22 – Estudios de los enlaces radio con dificultades en Lora

**CARMONA – LUISIANA – ALGABA:**

Lora2 actúa como nodo B concentrador. La conexión radio con Carm1 no presenta ningún inconveniente, pero en el trayecto entre Lora2 y Carm2 hay un obstáculo que sólo puede salvarse poniendo un repetidor, tal y como percibimos en la figura 8.23.



Carm' = 37°28'25''N 5°38'25''W

Figura 8.23 – Instalación de un repetir entre Lora2 y Carm2

En el enlace CazRTC – Luis2 la señal se ve obligada a cruzarse con otros dos enlaces radio lo que será el origen de interferencias nada despreciables. Un recurso que podríamos emplear es el de utilizar un nodo de Lora como punto concentrador hacia Luisiana. Proponemos que Lora9 en vez de actuar como un nodo B más de la red de Lora haga la función de nodo B concentrador para el núcleo de Luisiana, y con esto también obtenemos otra ventaja, la de repartir el tráfico de los 9 nodos de Lora.

Subiendo apenas 3 metros la antena Luis3, que con su altura de 30 metros no tenía suficiente para superar nuestras exigencias de margen de desvanecimiento en su enlace con Lora9, Luisiana queda cubierto.

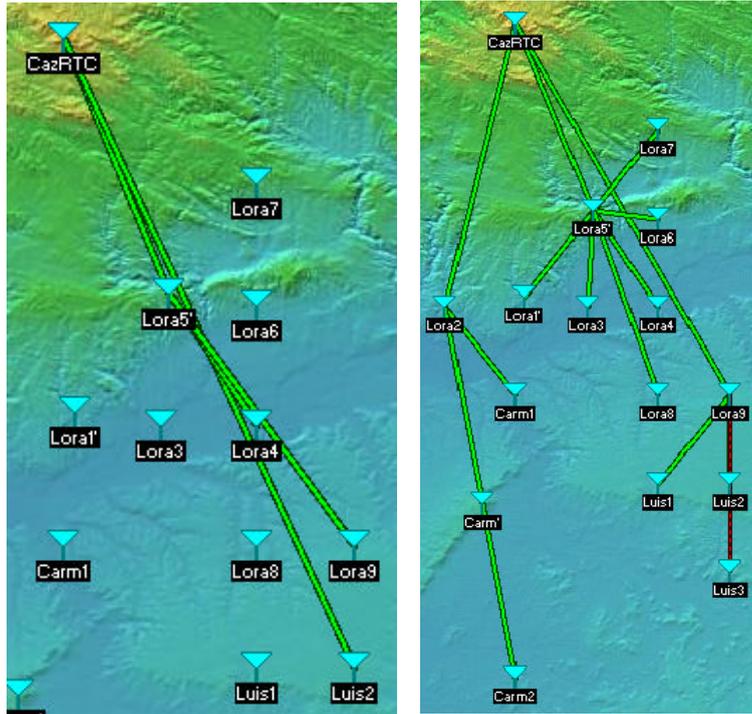


Figura 8.24 – Lora9 nodo B concentrador hacia Luisiana, como alternativa a Luis2

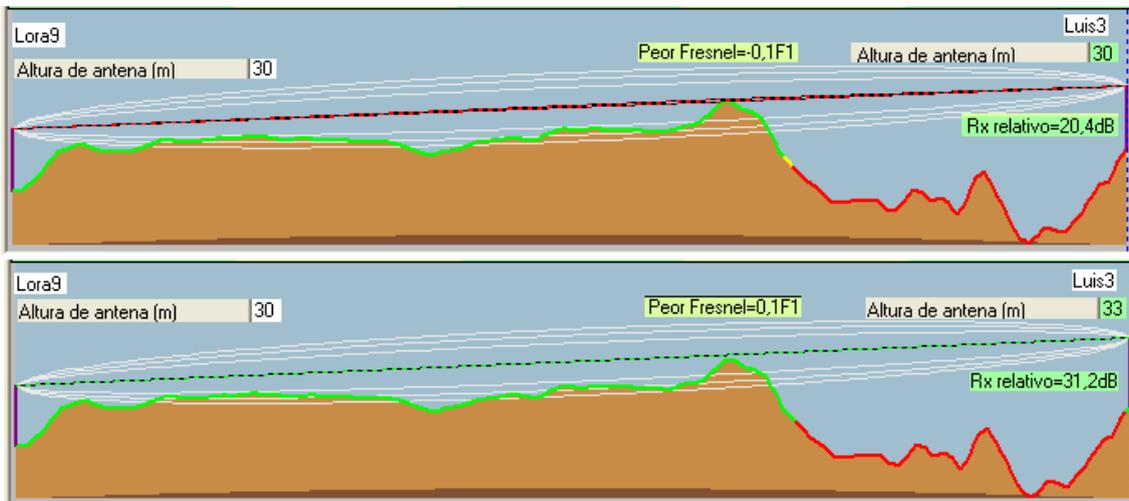
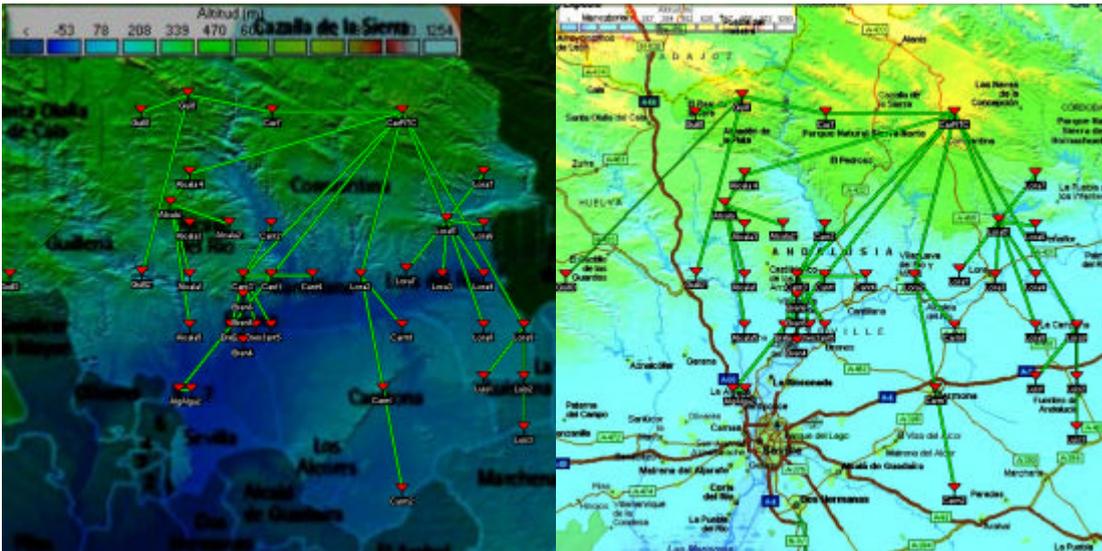


Figura 8.25 – Subimos 3 metros la antena de Luis3 para despejar la zona F1

La Algaba presenta dos conexiones CazRTC - Alga1, Alga1 - Alga2 y las dos se hacen de forma directa.



**Figura 8.26 – Estructura de red definitiva**

Una vez que el ingeniero de zona tiene los nodos B posicionados y un diseño de antena adaptado a las necesidades de la red es el momento de pedir los permisos requeridos por el marco regulador implicado. Después son los técnicos de implantación los que se personan en el lugar y controlan el proceso de construcción y puesta en marcha del nodo. Cuando esta etapa finaliza viene un período de observación de estadísticas y contadores en la que el ingeniero se asegura que el comportamiento de las celdas 3G, la integración del nodo con el núcleo de red, su transmisión, el establecimiento de vecindades y su actividad radio es el esperado. Tras ese estudio el nodo pasa de considerarse en “diseño” a “explotación” y ya pueden llevarse a cabo medidas de cobertura in situ para comprobar que el nodo está dando el servicio deseado.

### 8.2.2 - MÁS SOBRE RADIOLINK

En la barra de herramientas de la herramienta Enlace de Radio nos encontramos los menús:

- Editar

Copiar extrae la imagen del perfil del enlace para que podamos pegarla posteriormente desde el portapapeles a otro fichero.

Exportar a permite grabar el radioenlace en el formato adecuado para abrirlo usando Google Earth, el Bloc de notas o un programa llamado RmPath que está incluido en el paquete que nos descargamos con este software y que veremos más adelante.

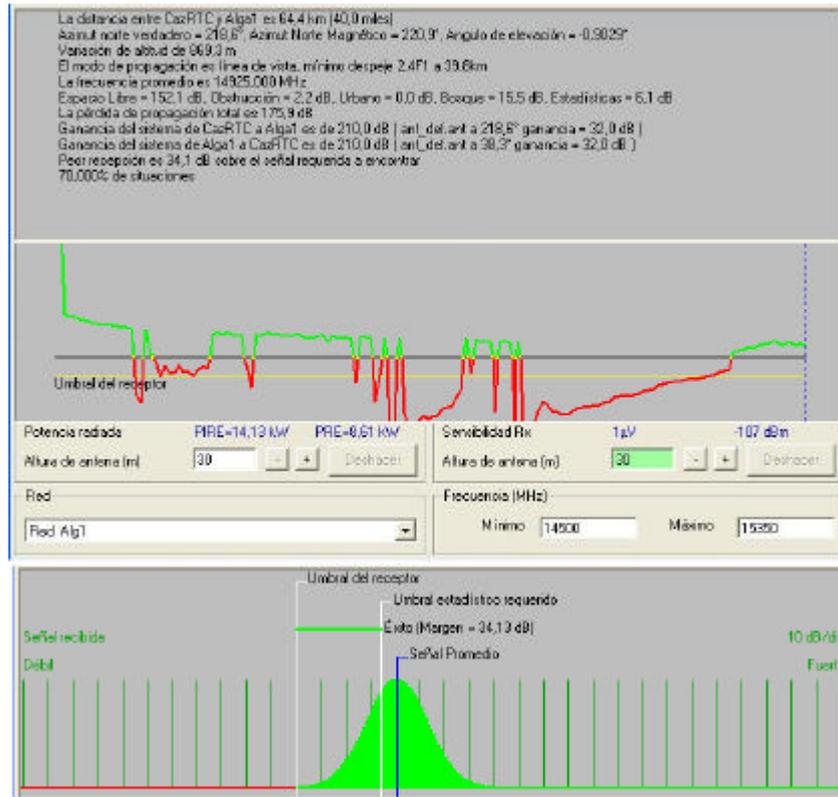
- Ver ? Nos da la posibilidad de observar distintas perspectivas y representaciones del trayecto del enlace.

Perfil es la opción marcada por defecto.

Detalles nos muestra en forma de texto un informe corto sobre las características del perfil.

Rango vemos los valores de señal en relación con la distancia.

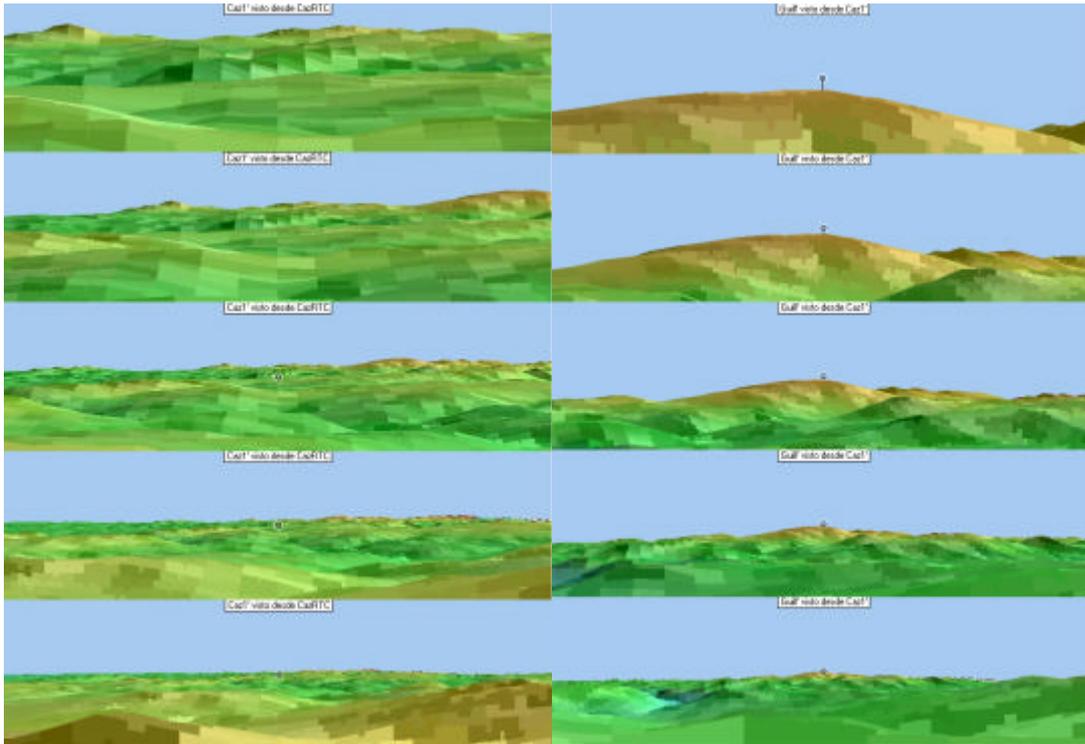
Distribución es la distribución estadística relativa al rendimiento del receptor.



**Figura 8.27 – Ventanas “Detalles”, “Rango” y “Distribución” respectivamente en el radioenlace CazRTC – Algal1**

Observar nos muestra una visión de la estación receptora desde el punto de vista del transmisor empleando diferentes ángulos de vista. También podemos crear un vuelo que consiste en una animación donde se muestra el viaje realizado por la señal a lo largo de su trayectoria en línea recta hasta llegar al receptor. Con todo esto nos podemos hacer una idea del grado de obstrucción de la línea de vista que tiene lugar en la transmisión. En opciones podemos especificar el número de tramas por segundo y la velocidad del vuelo.

- Invertir ? Sirve para intercambiar los papeles entre transmisor y receptor en el radioenlace.



**Figura 8.28 - Ejemplo de “Observar” aplicado al radioenlace CazRTC – Caz1’(a) y Caz1’- Guill’ (b) usando 5°, 10°, 20°, 40° y 80°**

Poco más nos queda por comentar sobre RadioLink, a parte de explicar el significado de las barritas de colores verde y roja que vienen acompañadas de una S seguida de un número, son los medidores-S. Es una manera de mostrar los niveles de señal que se recibirían si la unidad a la que acompañan actuase como receptora. Para nosotros los dos sentidos de la transmisión son idénticos, pero en el caso de que definiésemos distintos sistemas para cada lado del enlace los resultados dejarían de ser simétricos.

Una sección verde corresponde a una unidad-S y cada sección roja equivalen a 10 dB's adicionales sobre S9. Siendo M el margen de fading de señal el baremo sería:

- Frecuencias < 30 MHz:

- S0 ( $M \leq -3\text{dB}$ )
- S1 ( $M > -3\text{dB}$  y  $M < 3\text{dB}$ )
- S2 ( $M \geq 3\text{dB}$  y  $M \leq 9\text{dB}$ )
- S3 ( $M > 9\text{dB}$  y  $M < 15\text{dB}$ )
- S4 ( $M \geq 15\text{dB}$  y  $M \leq 21\text{dB}$ )
- S5 ( $M > 21\text{dB}$  y  $M < 27\text{dB}$ )
- S6 ( $M \geq 27\text{dB}$  y  $M \leq 33\text{dB}$ )
- S7 ( $M > 33\text{dB}$  y  $M < 39\text{dB}$ )
- S8 ( $M \geq 39\text{dB}$  y  $M \leq 45\text{dB}$ )
- S9 ( $M > 45\text{dB}$  y  $M < 54\text{dB}$ )
- S9 + 10 ( $M \geq 54\text{dB}$  y  $M < 63\text{dB}$ )
- S9 + 20 ( $M \geq 63\text{dB}$  y  $M < 73\text{dB}$ )
- S9 + 30 ( $M \geq 73\text{dB}$  y  $M < 83\text{dB}$ )

- Frecuencias  $\geq 30$  MHz:

- S0 ( $M \leq -1.5\text{dB}$ )
- S1 ( $M > -1.5\text{dB}$  y  $M < 1.5\text{dB}$ )
- S2 ( $M \geq 1.5\text{dB}$  y  $M \leq 4.5\text{dB}$ )
- S3 ( $M > 4.5\text{dB}$  y  $M < 7.5\text{dB}$ )
- S4 ( $M \geq 7.5\text{dB}$  y  $M \leq 10.5\text{dB}$ )
- S5 ( $M > 10.5\text{dB}$  y  $M < 13.5\text{dB}$ )
- S6 ( $M \geq 13.5\text{dB}$  y  $M \leq 16.5\text{dB}$ )
- S7 ( $M > 16.5\text{dB}$  y  $M < 19.5\text{dB}$ )
- S8 ( $M \geq 19.5\text{dB}$  y  $M \leq 22.5\text{dB}$ )
- S9 ( $M > 22.5\text{dB}$  y  $M < 27\text{dB}$ )
- S9 + 10 ( $M \geq 27\text{dB}$  y  $M < 39\text{dB}$ )
- S9 + 20 ( $M \geq 39\text{dB}$  y  $M < 49\text{dB}$ )
- S9 + 30 ( $M \geq 49\text{dB}$  y  $M < 59\text{dB}$ )