

Imagen 10. Ejemplo hornacina



## 5 Estudio de viabilidad de los enlaces entre estaciones base

Se presenta a continuación el estudio realizado sobre la viabilidad de los enlaces radioeléctricos necesarios para una correcta comunicación entre las tomas y los centros de control del presente proyecto.

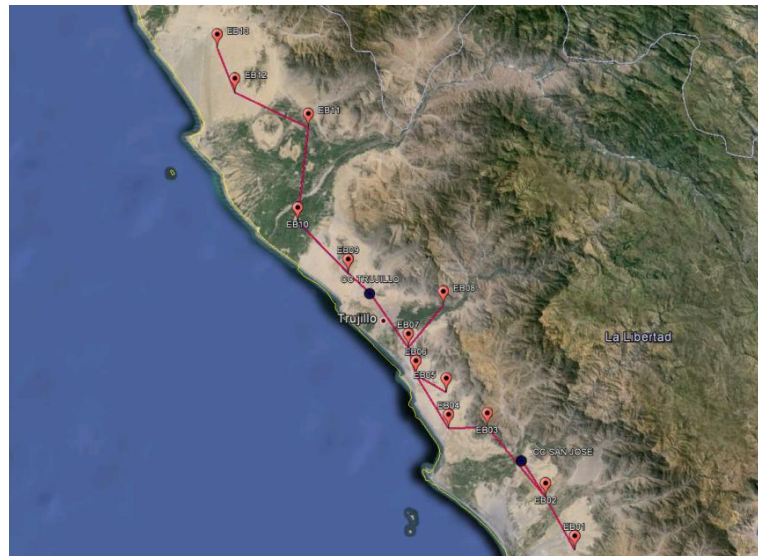
Todas las estaciones bases se unirán mediante enlaces WIMAX de alta capacidad para poder absorber el tráfico previsto de las estaciones remotas asociadas.

Los enlaces previstos entre estaciones bases serán:

- EB01 – EB02
- EB02 – EB03
- EB03 – EB04
- EB04 – EB06
- EB05 – EB06
- EB06 – EB07
- EB07 – EB08

- EB09 – EB10
- EB10 – EB11
- EB11 – EB12
- EB12 – EB13

Imagen 11. Aruiqectura de la red troncal WiMax



Se ha empleado el software gratuito Radio Mobile con los pertinentes mapas, geocalizando los puntos de control y los dos centros de control en sus posiciones exactas para posteriormente situar las estaciones base de manera que optimicen la red y den el soporte necesario para la correcta transmisión de los datos.

La simulación se realiza en base a lo expuesto en el punto *4.2 Características técnicas de los enlaces*.

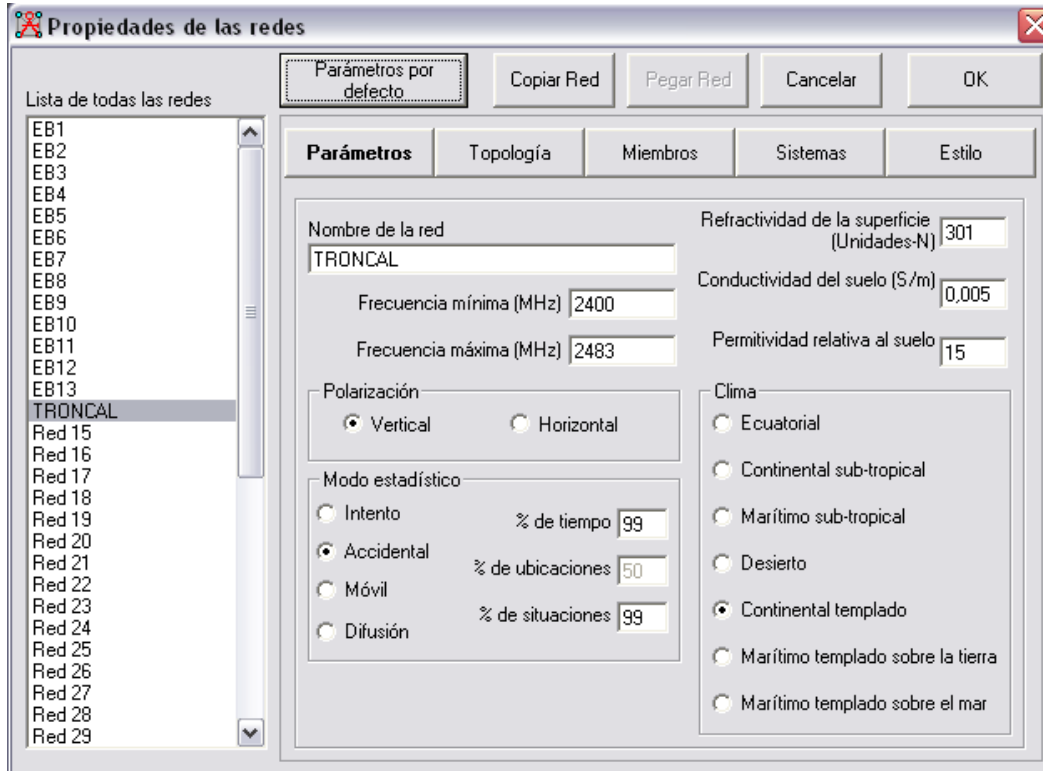
Para los enlaces WIMAX se han considerado los siguientes valores:

- Frecuencia de trabajo
  - 2.4GHz
- Ancho de Banda Canal                    40 MHz / **20 MHz** / 10 MHz / 5 MHz
- Velocidad transferencia datos        hasta 50Mbps para  $d \leq 120$  km
- Potencia TX                                    máx. 25 dBm
- Sensibilidad RX                            - 81dBm para una BER<10e-11 y 16QAM
- Perdidas cable + conectores        2 dB (IDU+ODU con antena)
- Antena    Directiva

- Ganancia 10 – 32 dBi
- Altura sobre el suelo 15 a 50m

Los parámetros relativos a la simulación son los siguientes:

Imagen 12. Viabilidad de los enlaces - Parametros para el estudio



El software utilizado basa su estudio en el modelo de propagación de Longley-Rice desarrollado por la ITS. Este modelo permite realizar estudios para enlaces entre 20MHz y 20GHz.

El modelo de Longley-Rice toma los siguientes parámetros para realizar las simulaciones:

- Frecuencia: La frecuencia de operación del enlace
- PIRE: Potencia Isotrópica Radiada Equivalente
- Polarización: Vertical u horizontal
- Refractividad: Valor para determinar la curvatura que sufrirán las ondas radio, generalmente se utiliza el valor de curvatura de la tierra
- Altura media del terreno
- Perfiles del terreno
- Refracción de la troposfera
- Conductividad y permisividad del suelo
- Clima

Se ha escogido un clima Continental templado y unos valores típicos para el resto de parámetros.

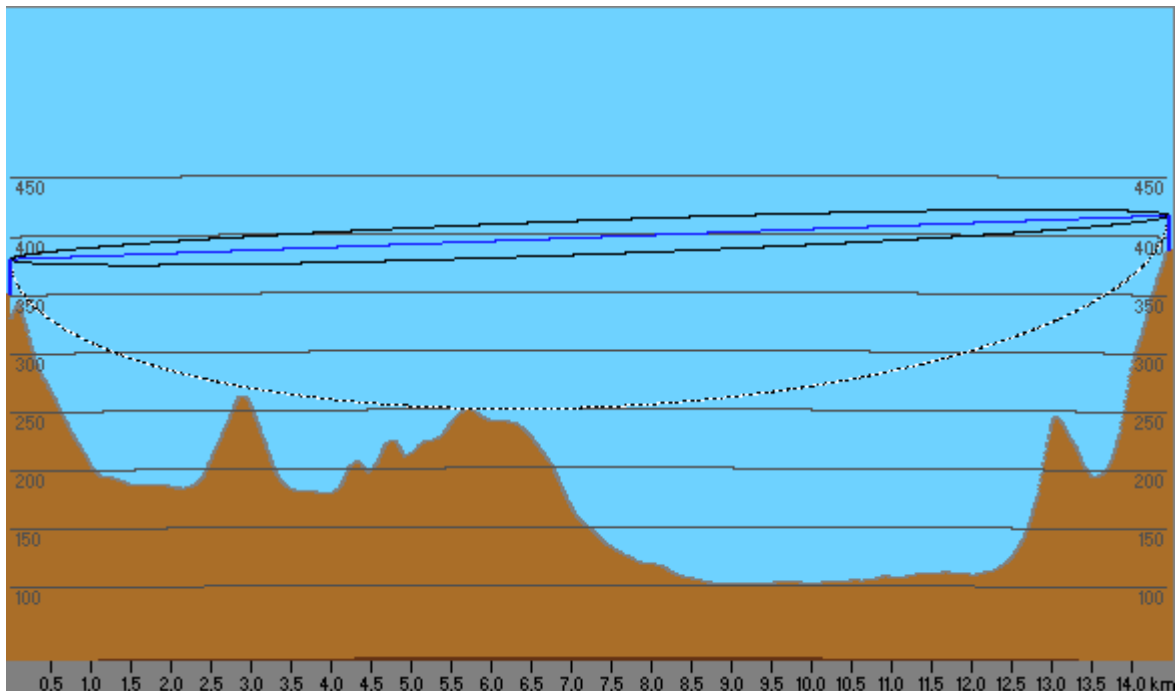
El 99% de tiempo es un valor que da la fracción de tiempo durante la que se espera que la intensidad de campo recibida real sea igual o mayor que el campo promedio por hora calculado por el programa.

El 99% de las situaciones es un valor referido a las variables “ocultas”. Estas variables son las que no pueden controlarse como por ejemplo las condiciones climatológicas. Cuanto mayor sea este valor, más restrictivos serán los cálculos. Si 10 ingenieros midieran la misma señal en el mismo punto en el mismo instante de tiempo, tomarían medidas distintas debido a las diferencias entre sus aparatos de medida, su habilidad para medir, su distinto grado de exactitud, etc. Esta variabilidad es recogida por este parámetro.

Se ha optado por dar un 99% a ambas variables para hacer el cálculo lo más preciso posible y no encontrar problemas a la hora de instalar los quipos en campo y hacerlos operar correctamente.

## Enlace Estación Base 1 – Estación Base 2

Imagen 13. Enlace Estación Base 1 – Estación Base 2



Distance between EB01 and EB02 is 14,4 km (9,0 miles)

True North Azimuth = 330,76°, Magnetic North Azimuth = 331,40°, Elevation angle = 0,1627°

Terrain elevation variation is 288,5 m

Propagation mode is line-of-sight, minimum clearance 7,1F1 at 5,7km

Average frequency is 2450,000 MHz

Free Space = 123,4 dB, Obstruction = 0,6 dB, Urban = 0,0 dB, Forest = 0,0 dB, Statistics = 31,1 dB

Total propagation loss is 155,1 dB

System gain from EB01 to EB02 is 165,0 dB

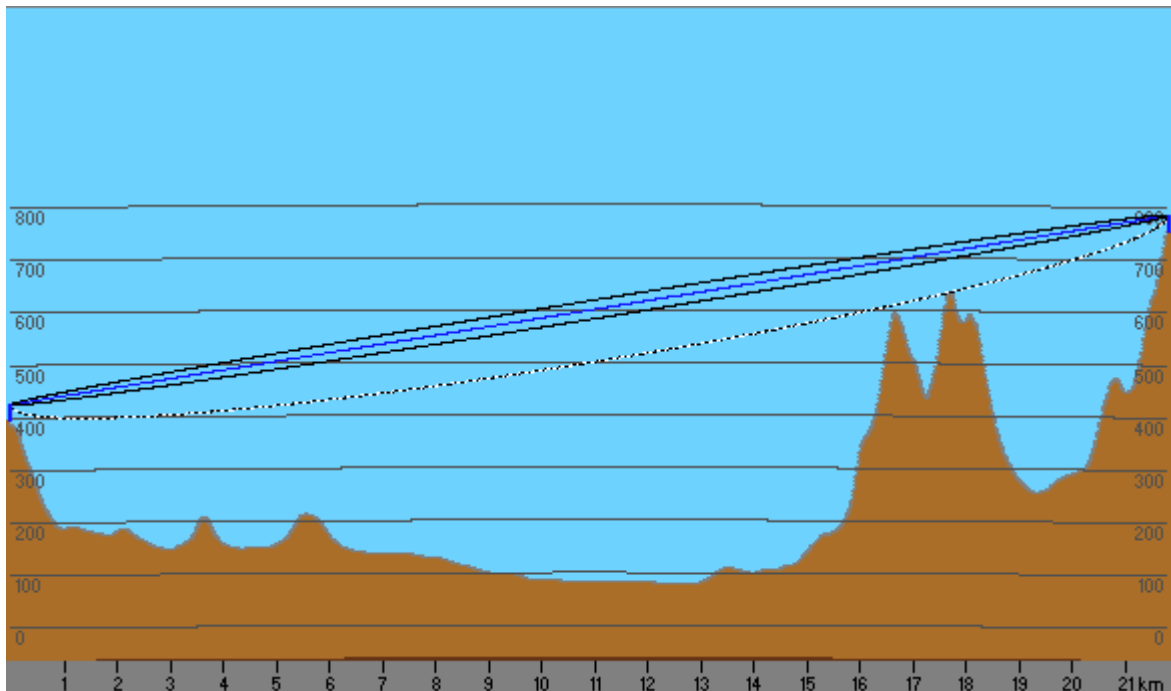
System gain from EB02 to EB01 is 165,0 dB

Worst reception is 9,9 dB over the required signal to meet

99,000% of time, 99,000% of situations

## Enlace Estación Base 2 – Estación Base 3

Imagen 14. Enlace Estación Base 2 – Estación Base 3



Distance between EB02 and EB03 is 21,8 km (13,5 miles)

True North Azimuth = 319,88°, Magnetic North Azimuth = 320,49°, Elevation angle = 0,9484°

Terrain elevation variation is 680,9 m

Propagation mode is line-of-sight, minimum clearance 4,8F1 at 17,7km

Average frequency is 2450,000 MHz

Free Space = 126,9 dB, Obstruction = -0,1 dB, Urban = 0,0 dB, Forest = 0,0 dB, Statistics = 31,1 dB

Total propagation loss is 157,9 dB

System gain from EB02 to EB03 is 165,0 dB

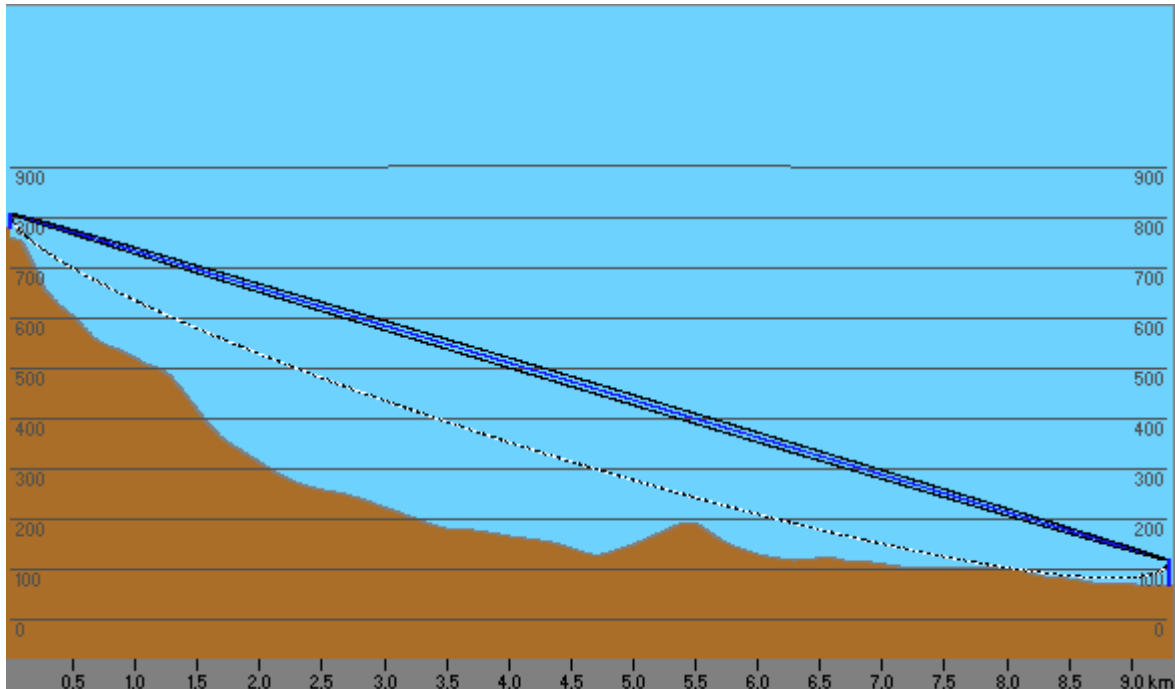
System gain from EB03 to EB02 is 165,0 dB

Worst reception is 7,1 dB over the required signal to meet

99,000% of time, 99,000% of situations

## Enlace Estación Base 3 – Estación Base 4

Imagen 15. Enlace Estación Base 3 – Estación Base 4



Distance between EB03 and EB04 is 9,3 km (5,8 miles)

True North Azimuth =  $267,25^\circ$ , Magnetic North Azimuth =  $267,81^\circ$ , Elevation angle =  $-4,2768^\circ$

Terrain elevation variation is 690,3 m

Propagation mode is line-of-sight, minimum clearance 9,5F1 at 8,1km

Average frequency is 2450,000 MHz

Free Space = 119,6 dB, Obstruction = -5,6 dB, Urban = 0,0 dB, Forest = 0,0 dB, Statistics = 31,2 dB

Total propagation loss is 145,1 dB

System gain from EB03 to EB04 is 165,0 dB

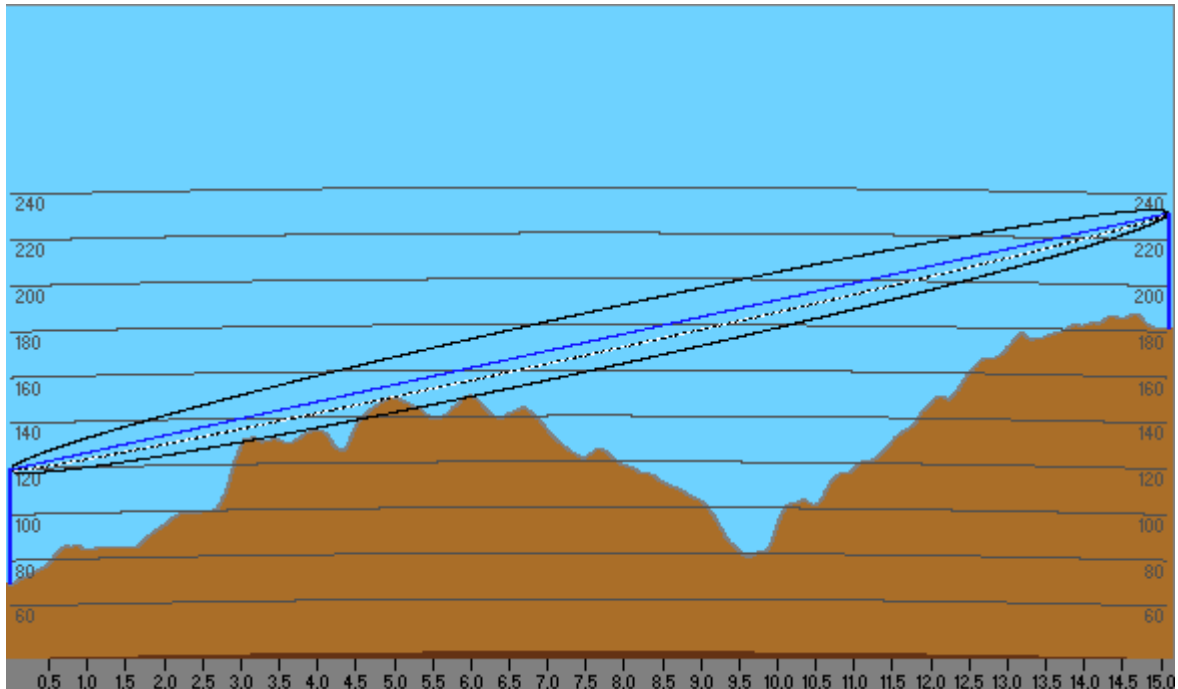
System gain from EB04 to EB03 is 165,0 dB

Worst reception is 19,9 dB over the required signal to meet

99,000% of time, 99,000% of situations

## Enlace Estación Base 4 – Estación Base 6

Imagen 16. Enlace Estación Base 4 – Estación Base 6



Distance between EB04 and EB06 is 15,1 km (9,4 miles)

True North Azimuth =  $328,34^\circ$ , Magnetic North Azimuth =  $328,84^\circ$ , Elevation angle =  $0,4040^\circ$

Terrain elevation variation is 122,1 m

Propagation mode is line-of-sight, minimum clearance 0,3F1 at 5,0km

Average frequency is 2450,000 MHz

Free Space = 123,7 dB, Obstruction = 5,2 dB, Urban = 0,0 dB, Forest = 0,0 dB, Statistics = 31,2 dB

Total propagation loss is 160,2 dB

System gain from EB04 to EB06 is 165,0 dB

System gain from EB06 to EB04 is 165,0 dB

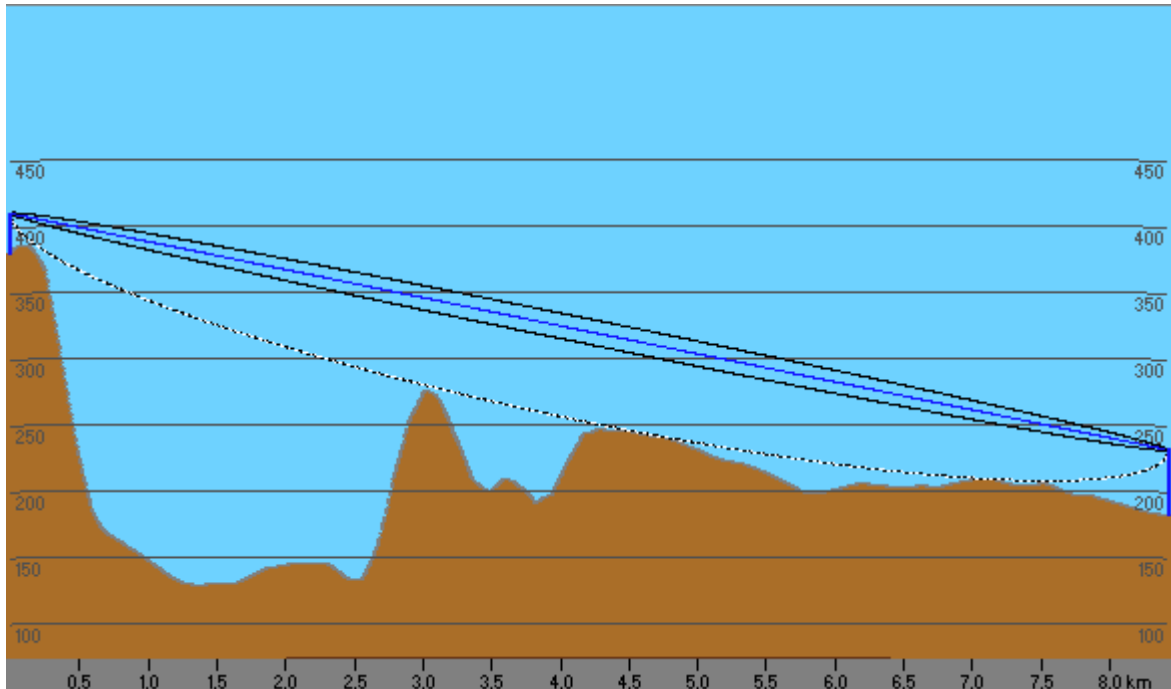
Worst reception is 4,8 dB over the required signal to meet

99,000% of time, 99,000% of situations



## Enlace Estación Base 6 – Estación Base 5

Imagen 17. Enlace Estación Base 6 – Estación Base 5



Distance between EB05 and EB06 is 8,4 km (5,2 miles)

True North Azimuth = 299,57°, Magnetic North Azimuth = 300,08°, Elevation angle = -1,2236°

Terrain elevation variation is 255,9 m

Propagation mode is line-of-sight, minimum clearance 4,3F1 at 7,1km

Average frequency is 2450,000 MHz

Free Space = 118,7 dB, Obstruction = -0,0 dB, Urban = 0,0 dB, Forest = 0,0 dB, Statistics = 31,1 dB

Total propagation loss is 149,8 dB

System gain from EB05 to EB06 is 165,0 dB

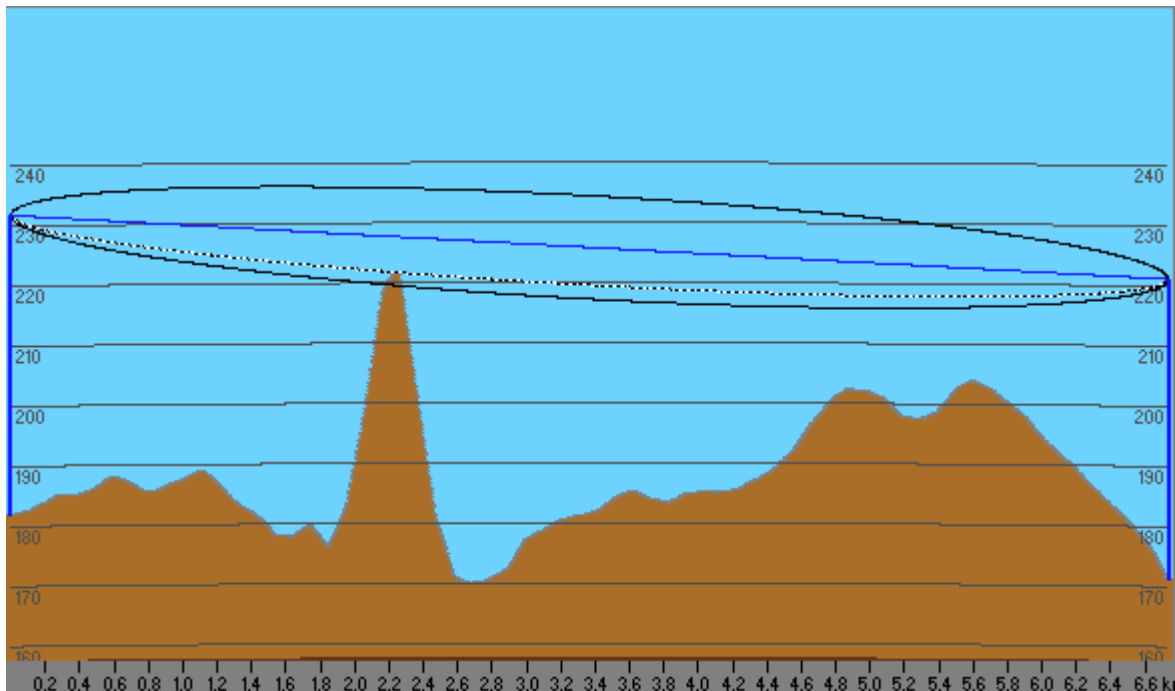
System gain from EB06 to EB05 is 165,0 dB

Worst reception is 15,2 dB over the required signal to meet

99,000% of time, 99,000% of situations

## Enlace Estación Base 6 – Estación Base 7

Imagen 18. Enlace Estación Base 6 – Estación Base 7



Distance between EB06 and EB07 is 6,7 km (4,2 miles)

True North Azimuth =  $344,09^\circ$ , Magnetic North Azimuth =  $344,56^\circ$ , Elevation angle =  $-0,0697^\circ$

Terrain elevation variation is 50,6 m

Propagation mode is line-of-sight, minimum clearance 0,5F1 at 2,2km

Average frequency is 2450,000 MHz

Free Space = 116,7 dB, Obstruction = 1,0 dB, Urban = 0,0 dB, Forest = 0,0 dB, Statistics = 30,9 dB

Total propagation loss is 148,7 dB

System gain from EB06 to EB07 is 165,0 dB

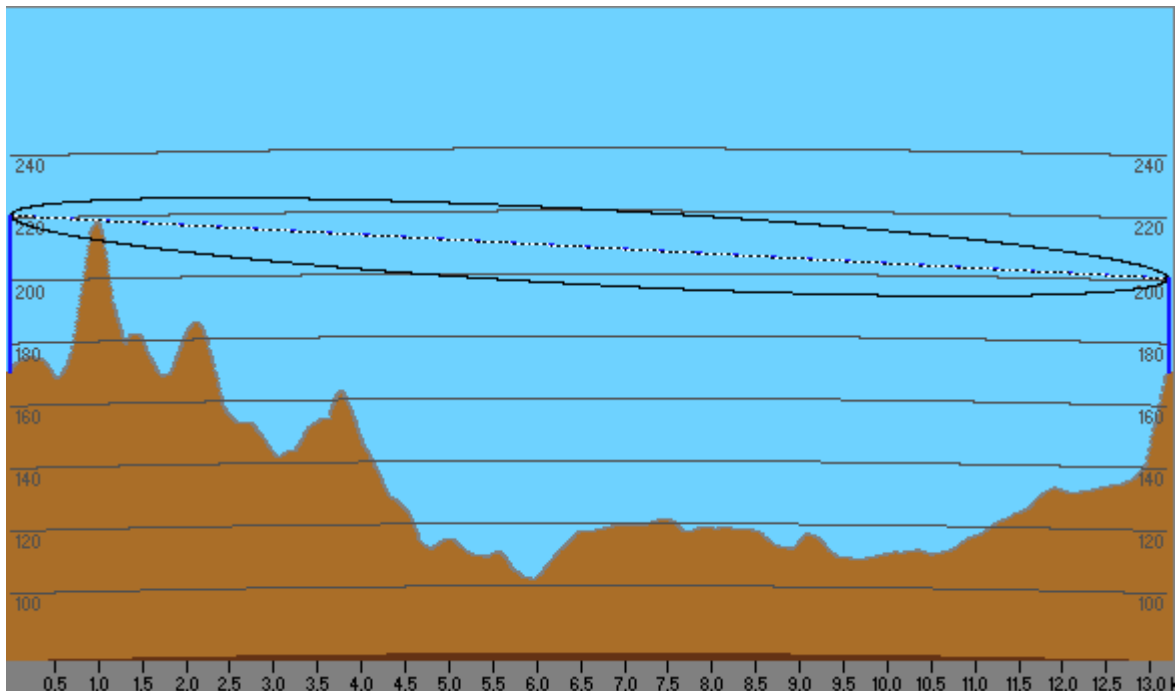
System gain from EB07 to EB06 is 165,0 dB

Worst reception is 16,3 dB over the required signal to meet

99,000% of time, 99,000% of situations

## Enlace Estación Base 7 – Estación Base 8

Imagen 19. Enlace Estación Base 7 – Estación Base 8



Distance between EB07 and EB08 is 13,2 km (8,2 miles)

True North Azimuth =  $39,27^\circ$ , Magnetic North Azimuth =  $39,75^\circ$ , Elevation angle =  $-0,0218^\circ$

Terrain elevation variation is 117,0 m

Propagation mode is line-of-sight, minimum clearance 0,2F1 at 1,0km

Average frequency is 2450,000 MHz

Free Space = 122,6 dB, Obstruction = 4,9 dB, Urban = 0,0 dB, Forest = 1,0 dB, Statistics = 31,1 dB

Total propagation loss is 159,5 dB

System gain from EB07 to EB08 is 165,0 dB

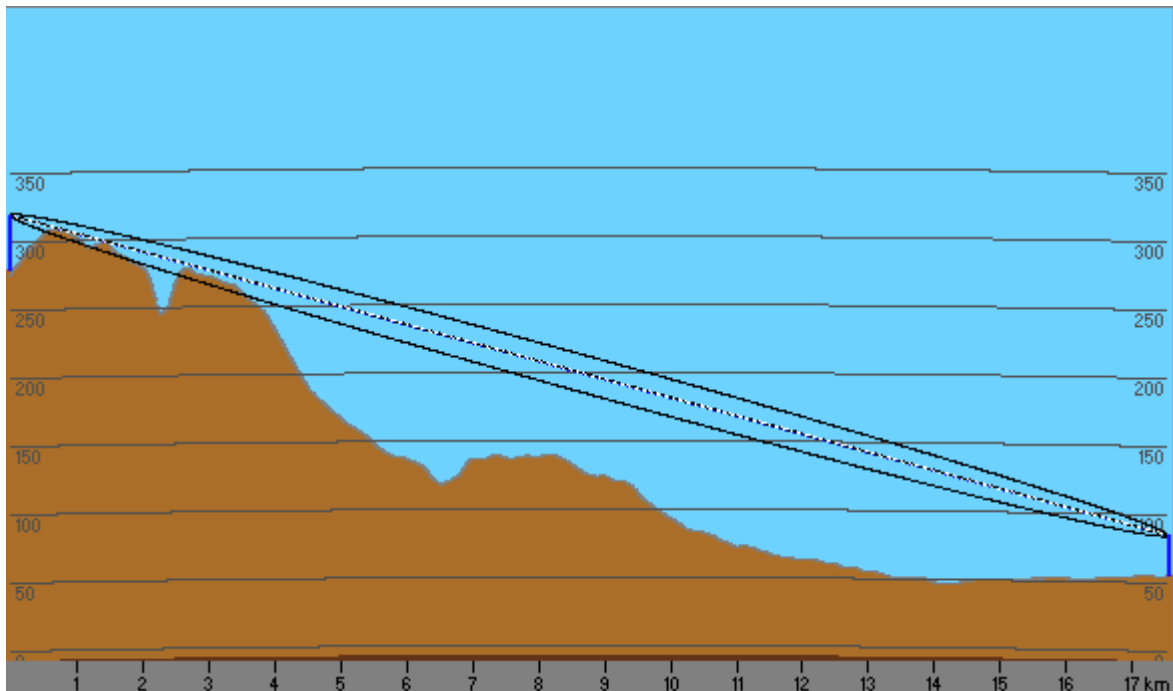
System gain from EB08 to EB07 is 165,0 dB

Worst reception is 5,5 dB over the required signal to meet

99,000% of time, 99,000% of situations

## Enlace Estación Base 9 – Estación Base 10

Imagen 20. Enlace Estación Base 9 – Estación Base 10



Distance between EB09 and EB10 is 17,5 km (10,9 miles)

True North Azimuth =  $315,32^\circ$ , Magnetic North Azimuth =  $315,75^\circ$ , Elevation angle =  $-0,8036^\circ$

Terrain elevation variation is 261,6 m

Propagation mode is line-of-sight, minimum clearance 0,1F1 at 1,4km

Average frequency is 2450,000 MHz

Free Space = 125,1 dB, Obstruction = 6,0 dB, Urban = 0,0 dB, Forest = 1,0 dB, Statistics = 31,3 dB

Total propagation loss is 163,3 dB

System gain from EB09 to EB10 is 165,0 dB

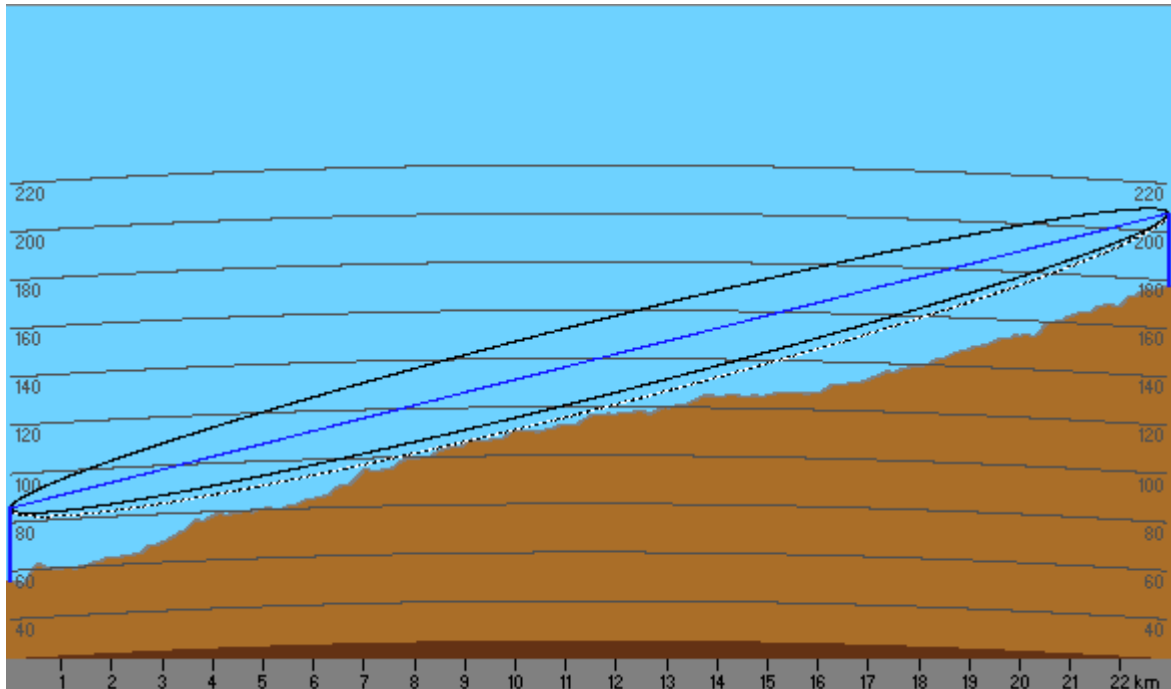
System gain from EB10 to EB09 is 165,0 dB

Worst reception is 1,7 dB over the required signal to meet

99,000% of time, 99,000% of situations

## Enlace Estación Base 10 – Estación Base 11

Imagen 21. Enlace Estación Base 10 – Estación Base 11



Distance between EB10 and EB11 is 22,9 km (14,2 miles)

True North Azimuth =  $5,96^\circ$ , Magnetic North Azimuth =  $6,33^\circ$ , Elevation angle =  $0,2521^\circ$

Terrain elevation variation is 124,6 m

Propagation mode is line-of-sight, minimum clearance 0,8F1 at 9,1km

Average frequency is 2450,000 MHz

Free Space = 127,4 dB, Obstruction = -4,4 dB, Urban = 0,0 dB, Forest = 0,0 dB, Statistics = 31,6 dB

Total propagation loss is 154,6 dB

System gain from EB10 to EB11 is 165,0 dB

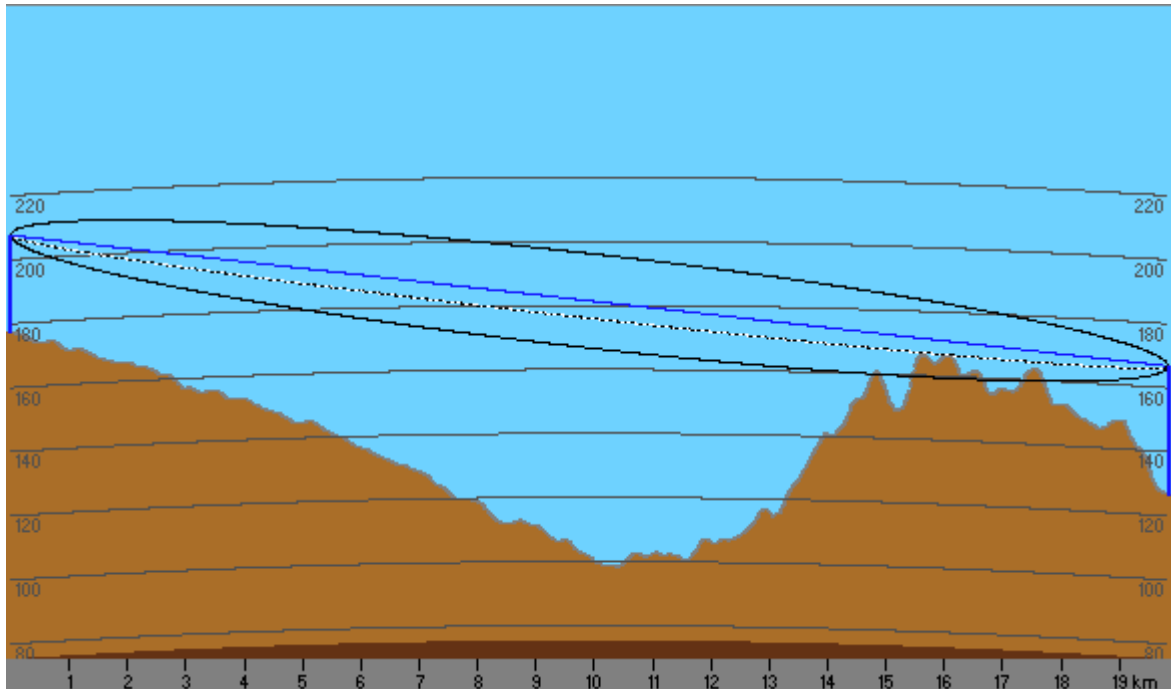
System gain from EB11 to EB10 is 165,0 dB

Worst reception is 10,4 dB over the required signal to meet

99,000% of time, 99,000% of situations

## Enlace Estación Base 11 – Estación Base 12

Imagen 22. Enlace Estación Base 11 – Estación Base 12



Distance between EB11 and EB12 is 19,8 km (12,3 miles)

True North Azimuth = 295,50°, Magnetic North Azimuth = 295,94°, Elevation angle = -0,1850°

Terrain elevation variation is 80,7 m

Propagation mode is line-of-sight, minimum clearance 0,2F1 at 15,6km

Average frequency is 2450,000 MHz

Free Space = 126,1 dB, Obstruction = 5,8 dB, Urban = 0,0 dB, Forest = 0,0 dB, Statistics = 31,5 dB

Total propagation loss is 163,4 dB

System gain from EB11 to EB12 is 165,0 dB

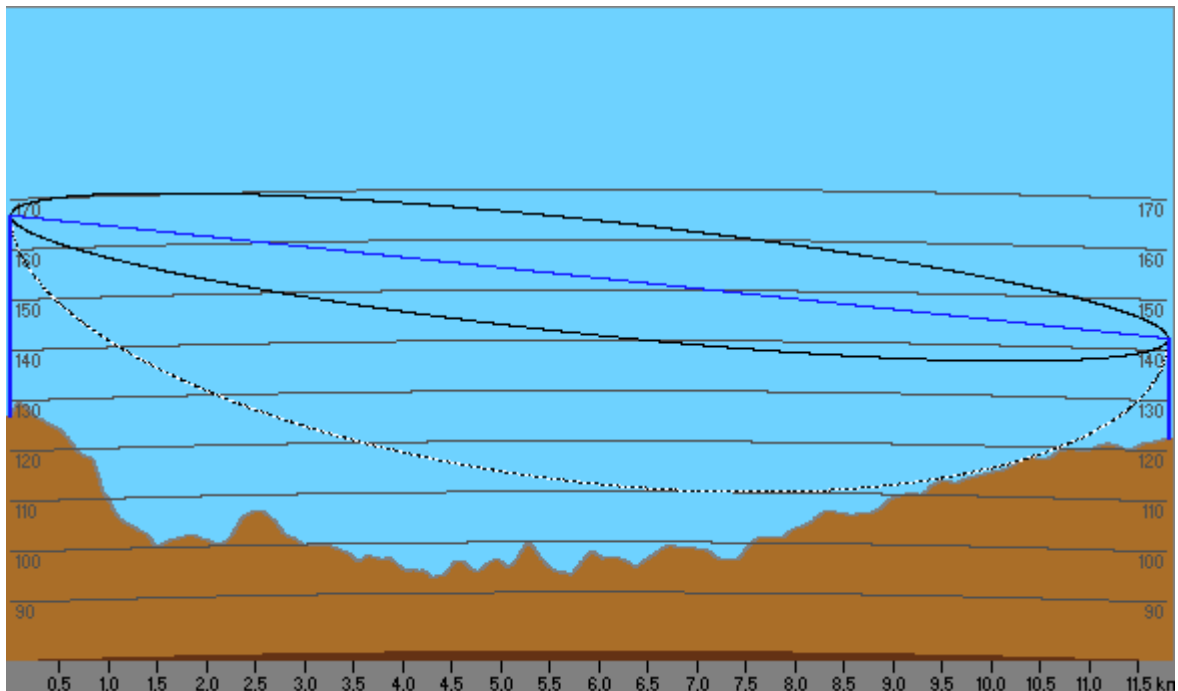
System gain from EB12 to EB11 is 165,0 dB

Worst reception is 1,6 dB over the required signal to meet

99,000% of time, 99,000% of situations

## Enlace Estación Base 12 – Estación Base 13

Imagen 23. Enlace Estación Base 12 – Estación Base 13



Distance between EB12 and EB13 is 11,8 km (7,3 miles)

True North Azimuth = 337,58°, Magnetic North Azimuth = 337,92°, Elevation angle = -0,1249°

Terrain elevation variation is 36,2 m

Propagation mode is line-of-sight, minimum clearance 2,2F1 at 10,3km

Average frequency is 2450,000 MHz

Free Space = 121,6 dB, Obstruction = -3,3 dB, Urban = 0,0 dB, Forest = 0,0 dB, Statistics = 30,9 dB

Total propagation loss is 149,3 dB

System gain from EB12 to EB13 is 148,0 dB

System gain from EB13 to EB12 is 147,0 dB

Worst reception is 2,3 dB below the required signal to meet

99,000% of time, 99,000% of situations

## Centros de Control Principal (Trujillo) y redundante (San José)

Como se ha comentado con anterioridad, los datos de las estaciones remotas se recogerán en las estaciones bases y estas transportarán esta información hasta el Centro de Control Principal (Trujillo) y redundante (San José).

Se presenta a continuación el estudio de la integración de estos dos puntos importantes en la red troncal de comunicación WIMAX.

### Centro de Control Principal – Trujillo

- Enlace Estación Base 09 – Centro de Control Principal - Trujillo
- Enlace Estación Base 07 – Centro de Control Principal – Trujillo

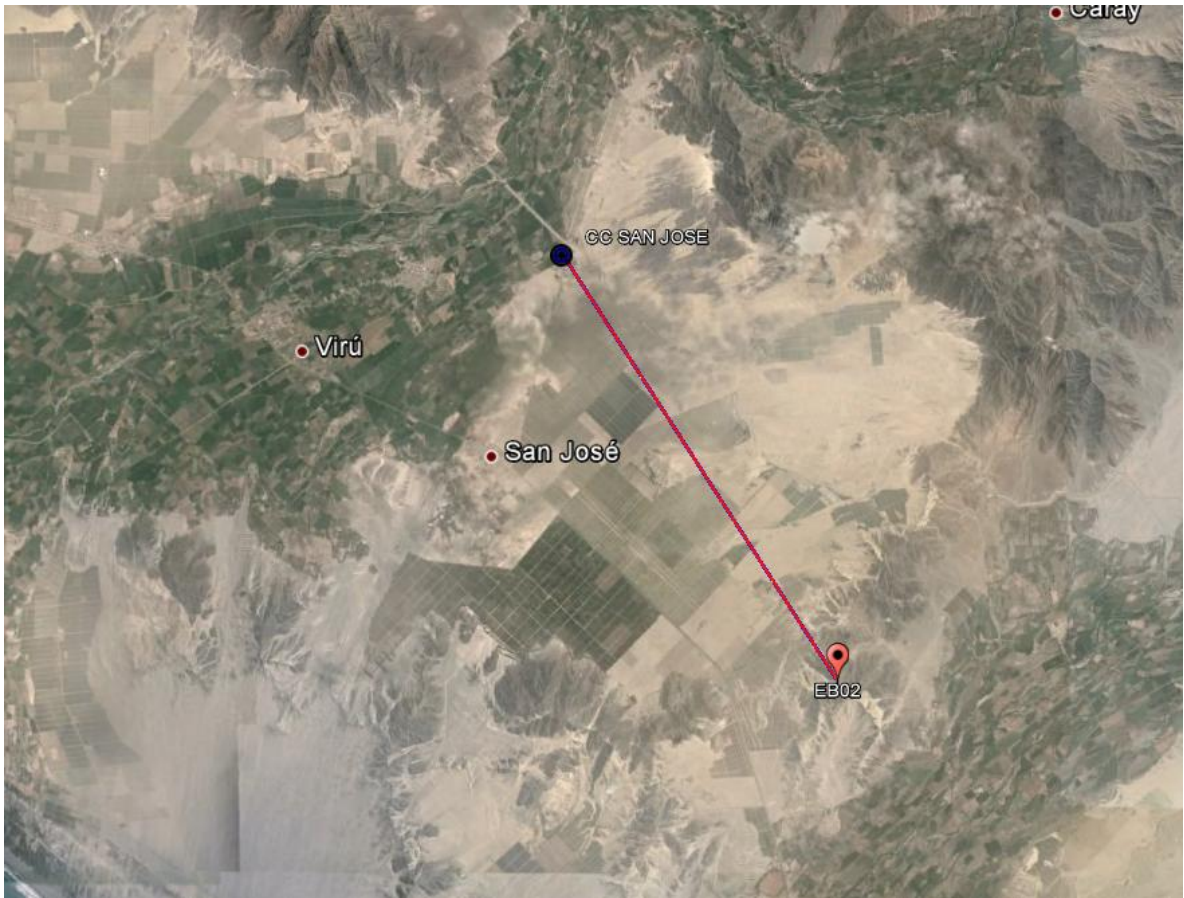
Imagen 24. Enlaces WIMAX con el Centro de Control Principal - Trujillo





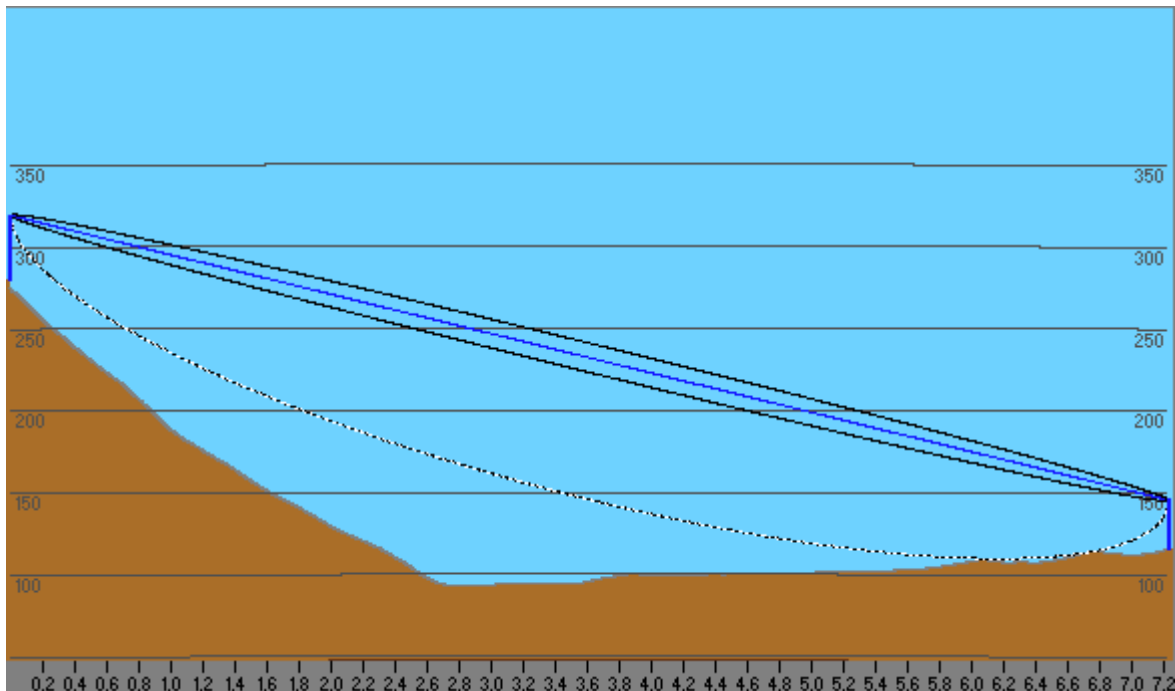
## Centro de Control Redundante – San José

- Enlace Estación Base 02 – Centro de Control Redundante – San José  
[Imagen 25. Enlace WIMAX con el Centro de Control Redundante - San José](#)



## Enlace Estación Base 09 – Centro de Control Principal – Trujillo

Imagen 26. Enlace Estación Base 09 – Centro de Control Principal – Trujillo



Distance between EB09 and CC TRUJILLO is 7,2 km (4,5 miles)

True North Azimuth = 131,95°, Magnetic North Azimuth = 132,38°, Elevation angle = -1,4417°

Terrain elevation variation is 182,2 m

Propagation mode is line-of-sight, minimum clearance 5,8F1 at 6,7km

Average frequency is 2450,000 MHz

Free Space = 117,4 dB, Obstruction = 17,7 dB, Urban = 0,0 dB, Forest = 0,0 dB, Statistics = 31,1 dB

Total propagation loss is 166,1 dB

System gain from EB09 to CC TRUJILLO is 166,0 dB

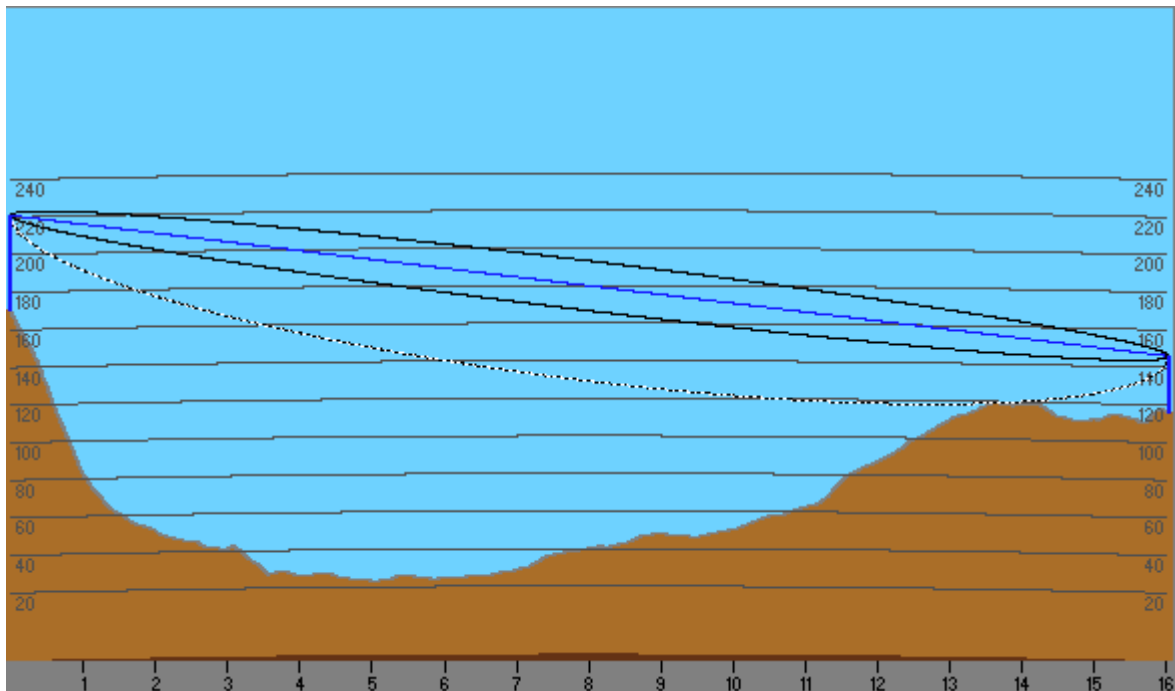
System gain from CC TRUJILLO to EB09 is 174,0 dB

Worst reception corresponds to the required signal to meet

99,000% of time, 99,000% of situations

## Enlace Estación Base 07 – Centro de Control Principal – Trujillo

Imagen 27. Enlace Estación Base 07 – Centro de Control Principal – Trujillo



Distance between EB07 and CC TRUJILLO is 16,0 km (9,9 miles)

True North Azimuth =  $324,78^\circ$ , Magnetic North Azimuth =  $325,26^\circ$ , Elevation angle =  $-0,2957^\circ$

Terrain elevation variation is 147,7 m

Propagation mode is line-of-sight, minimum clearance 2,3F1 at 13,6km

Average frequency is 2450,000 MHz

Free Space = 124,3 dB, Obstruction = -0,6 dB, Urban = 0,0 dB, Forest = 0,0 dB, Statistics = 31,1 dB

Total propagation loss is 154,7 dB

System gain from EB07 to CC TRUJILLO is 166,0 dB

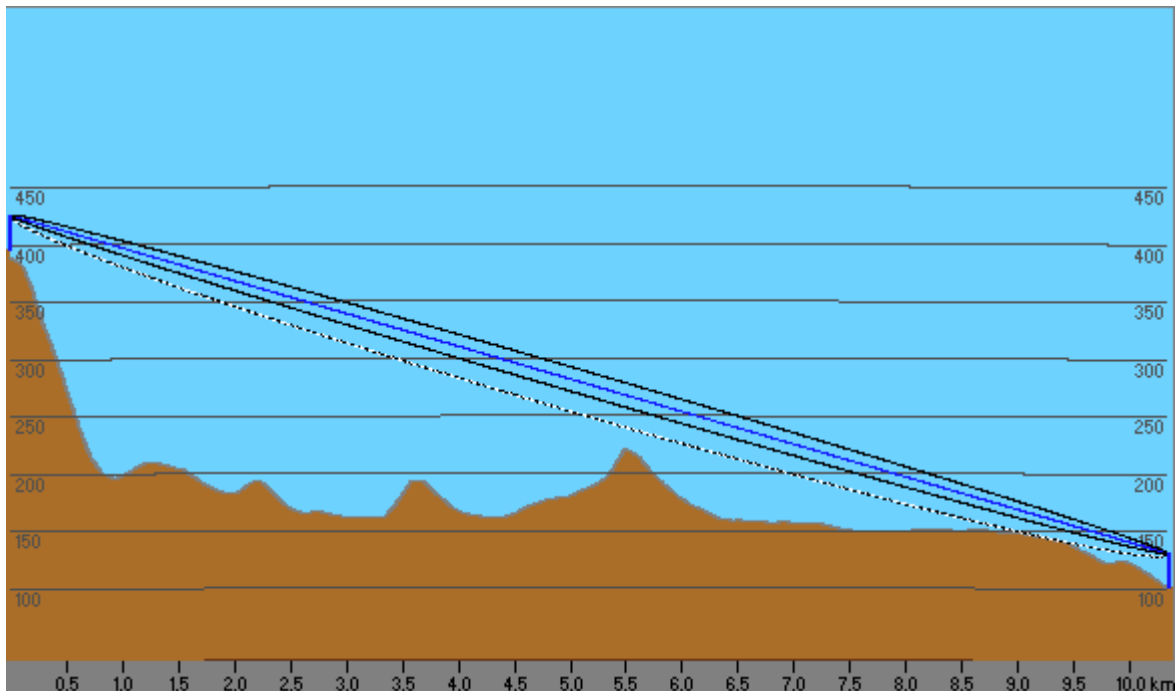
System gain from CC TRUJILLO to EB07 is 174,0 dB

Worst reception is 11,3 dB over the required signal to meet

99,000% of time, 99,000% of situations

## Enlace Estación Base 02 – Centro de Control Redundante – San José

Imagen 28. Enlace Estación Base 02 – Centro de Control Redundante – San José



Distance between EB02 and CC SAN JOSE is 10,3 km (6,4 miles)

True North Azimuth =  $326,91^\circ$ , Magnetic North Azimuth =  $327,53^\circ$ , Elevation angle =  $-1,6325^\circ$

Terrain elevation variation is 288,4 m

Propagation mode is line-of-sight, minimum clearance 1,6F1 at 9,4km

Average frequency is 2450,000 MHz

Free Space = 120,5 dB, Obstruction = -3,0 dB, Urban = 0,0 dB, Forest = 0,0 dB, Statistics = 31,0 dB

Total propagation loss is 148,6 dB

System gain from EB02 to CC SAN JOSE is 166,0 dB

System gain from CC SAN JOSE to EB02 is 174,0 dB

Worst reception is 17,4 dB over the required signal to meet

99,000% of time, 99,000% of situations