



## APLICACIÓN DE MAPAS DIGITALES DEL TERRENO Y CÁLCULOS DE INDISPONIBILIDAD EN RADIOENLACES FIJOS

### 1. INTRODUCCIÓN

El siguiente caso tiene como objetivo la planificación de un radioenlace y estudio de la calidad del servicio ofrecido. Una planificación general incluye las siguientes etapas:

- Elección de la modulación y niveles mínimos aceptables para extraer la información.
- Elección de los equipos transceptores.
- Localización de las estaciones terminales e intermedias.
- Determinación de las alturas de las antenas de las estaciones radio.
- Determinación del margen de desvanecimiento, así como su configuración (atenuador variable, CAG o UPC), para cumplir los objetivos de calidad de disponibilidad y fidelidad.

Entre las herramientas que se necesitan para llevar a cabo estas etapas se encuentran los mapas digitales del terreno que proporcionan información sobre la orografía del terreno y posibles pérdidas por difracción debidas a la presencia de obstáculos.

Las recomendaciones de la UIT más relacionadas con el objetivo de este caso de estudio son las siguientes:

- UIT-R P.530:
  - o Describe una metodología para determinar las alturas de las antenas para evitar los desvanecimientos producidos por variaciones del factor de modificación del radio terrestre  $k$ .
  - o Describe como calcular los desvanecimientos provocados por lluvia a partir de la intensidad de lluvia superada en el  $R_{0,01\%}$  (UIT-R P.837) y de los parámetros  $k$  y  $\alpha$  (UIT-R P.838).
- UIT-R P. 526: Describe una metodología para determinar las pérdidas por difracción
- UIT-R P. 676: Describe cómo calcular la atenuación introducida debida a la presencia de gases atmosféricos.
- UIT-R F.637: Describe el plan de disposición de frecuencias en la banda de los 23 GHz
- UIT-R F.1703: Describe los objetivos de disponibilidad

## 2. MAPAS DIGITALES DEL TERRENO

Tradicionalmente, los perfiles se representan a partir de datos obtenidos manualmente de mapas topográficos. Se van obteniendo los pares distancia-cota por intersección entre la línea que une las ubicaciones del transmisor y el receptor y las curvas del nivel del terreno.

Aunque esta tarea es sencilla, resulta tediosa y consume mucho tiempo, sobre todo en las fases del proyecto que requieren el análisis y evaluación de múltiples emplazamientos posibles para ubicar las estaciones. Para solventar estos problemas, se utilizan mapas digitales del terreno que permiten automatizar el trazado de perfiles.

En este estudio, se propone utilizar el programa PROYECTO RADIO de ALBENTIA SYSTEMS, herramienta diseñada para planificar redes WIMAX tanto fijas como móviles. Este software utiliza mapas digitales del terreno, y está diseñado para altas frecuencias. En nuestro caso, al aplicarlo al diseño de radioenlaces, solo utilizaremos la parte relativa al cálculo de las alturas de las antenas.

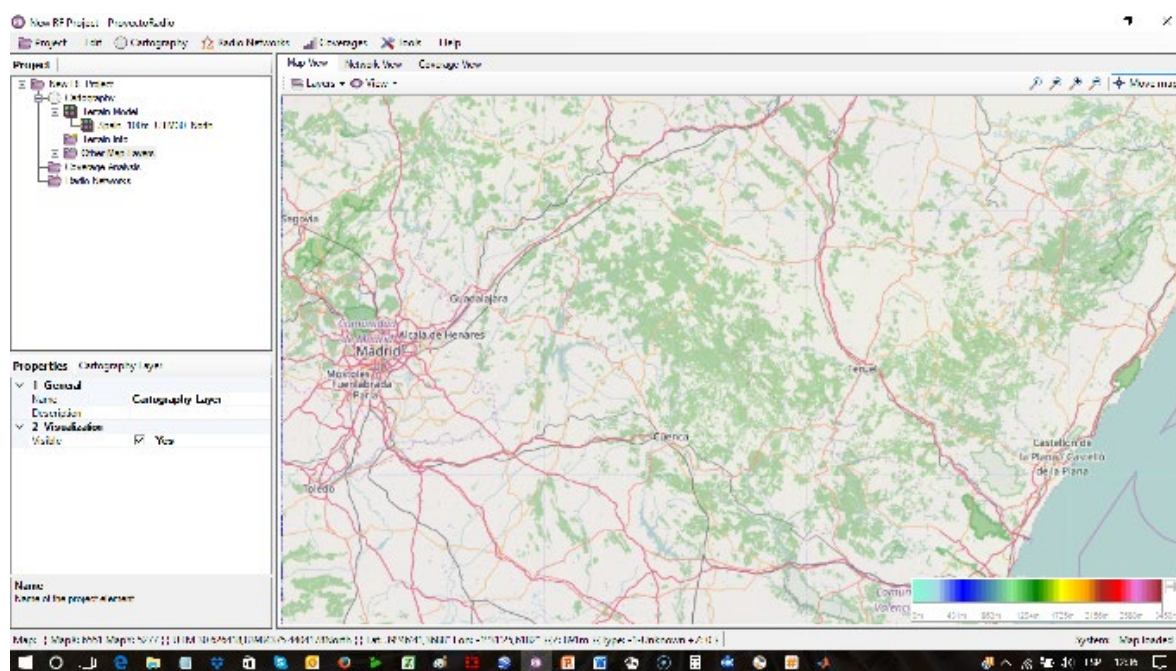


Figura 1. Vista de parte del mapa de España con la capa Street Map activada

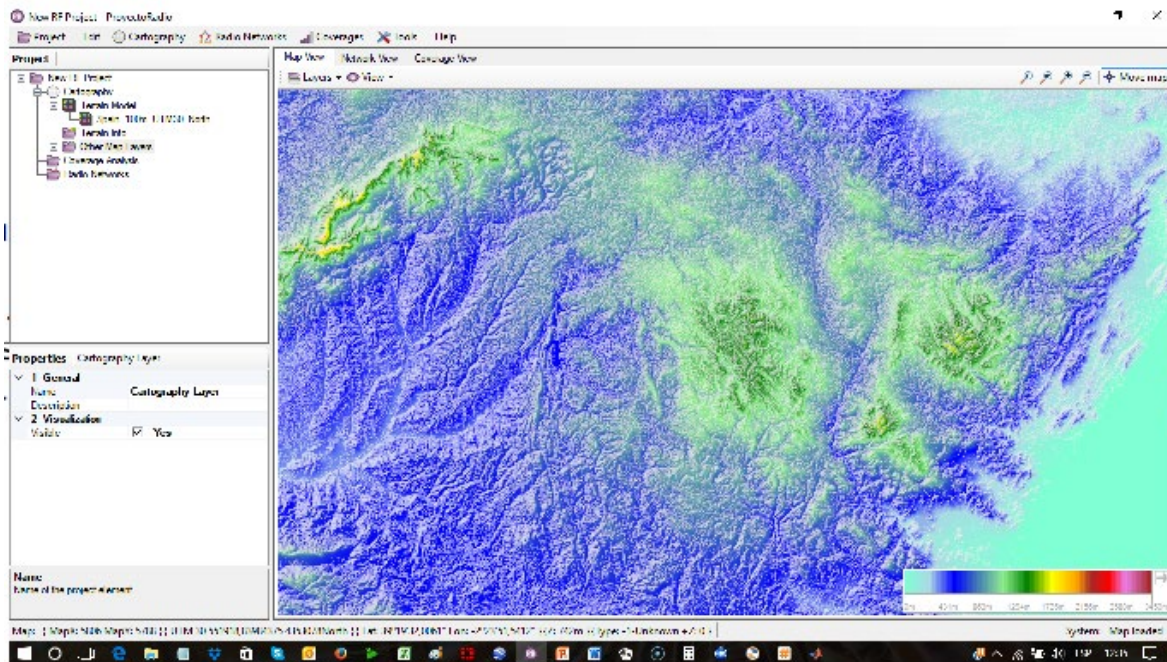


Figura 2. Vista de parte del mapa de España con solo la capa de relieve activada

Con estos datos se pueden probar de manera sencilla diferentes emplazamientos que tengan un perfil más adecuado para el radioenlace que se está diseñando. Además, se puede calcular la altura que deben tener las antenas en las estaciones de radiocomunicación para evitar los desvanecimientos debidos a variaciones del factor K. Las condiciones de refracción de la atmósfera no son constantes y, cuando la atmósfera es suficientemente subrefractiva (valores reducidos del factor K), los rayos se curvan de forma que la Tierra puede llegar a obstruir el trayecto directo lo que en condiciones normales ( $K=4/3$ ) no ocurre. En estos casos aparecerá una pérdida por difracción y por lo tanto un desvanecimiento en la potencia recibida.

En la UIT-R P.530 se recomienda utilizar el procedimiento descrito en el apartado 2.2.2.1 para determinar las alturas de las antenas sin utilizar técnicas de diversidad (es decir, sólo una antena por estación) en los climas templados:

- Paso 1: Se determinan las alturas de antenas necesarias para el valor mediano apropiado del factor k en el punto ( $k = 4/3$ ) y un despejamiento igual al primer radio de las zonas de Fresnel por encima del obstáculo que peor despejamiento presenta.
- Paso 2: Se obtiene el valor de  $k_e$  (99,9%) a partir de la Figura 3, para la longitud del trayecto en cuestión.

## CASO PRÁCTICO: APLICACIÓN DE MAPAS DIGITALES DEL TERRENO Y CÁLCULOS DE INDISPONIBILIDAD EN RADIOENLACES FIJOS

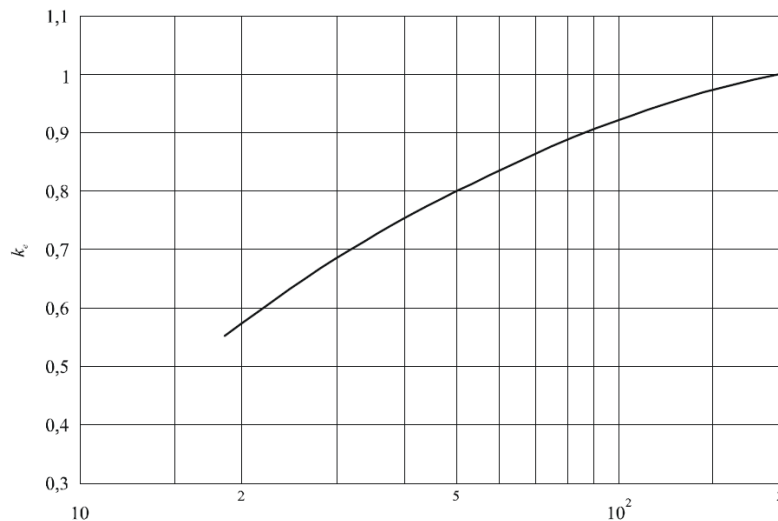


Figura 3. Factor  $K$  anómalo superado en el 99,9% del tiempo en función de la distancia del enlace

- Paso 3: Se calculan las alturas de antena necesarias para el valor de  $k_e$  obtenido en el Paso 2 y un despejamiento nulo para el obstáculo que peor despejamiento presenta (se asume clima templado y presencia de un único obstáculo dominante).
- Paso 4: Se seleccionan las mayores alturas de antena obtenidas en los Pasos 1 y 3

PROYECTO RADIO permite introducir las condiciones de diseño de la recomendación P.530 para el cálculo de las alturas de las antenas, y las calcula para todas las estaciones de la red.

El programa nos permite situar las estaciones radio y relocalizarlas buscando el punto de máxima altitud de la zona, así como visualizar los perfiles entre estaciones.

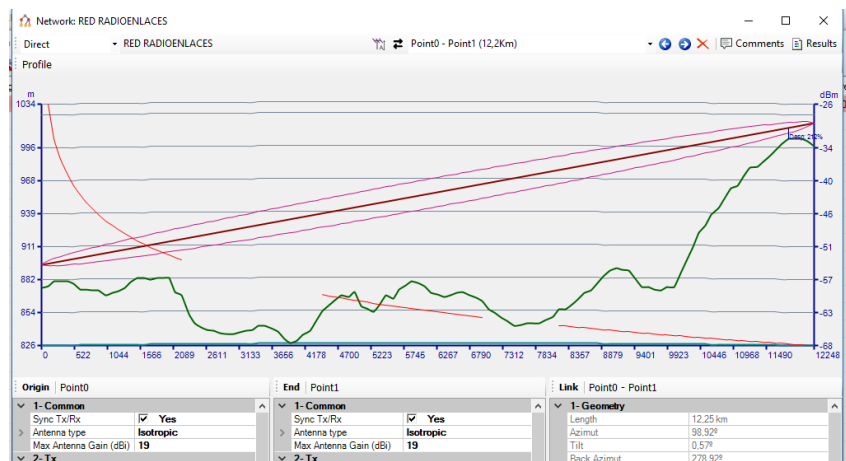


Figura 4. Perfil geográfico entre dos estaciones radio



Una vez que hemos situado las estaciones en enclaves que aseguran un perfil más o menos despejado, procederemos al cálculo de las alturas de las antenas según el modelo de la recomendación UIT-R P.530 implementado en PROYECTO RADIO. Para ello, seguiremos las indicaciones descritas en las instrucciones de manejo de PROYECTO RADIO.

### 3. CAPACIDAD DEL RADIOENLACE

La cantidad de información que podemos intercambiar entre dos usuarios depende del tipo de equipos utilizados y del plan de disposición de frecuencias seleccionado.

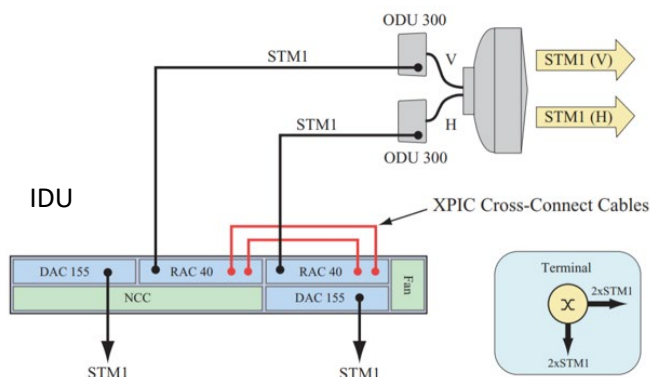
Para el caso de estudio, se ha elegido la banda de frecuencia 23 GHz y como equipos transceptores de las estaciones terminales e intermedias se han considerado las siguientes posibilidades:

- AVIAT ECLIPSE ODU300HP/EP
- ALCATEL-LUCENT 9500 MCC ODU 300HP
- MOTOROLA PTP800 ODU A/B
- TRUEPOINT 5000

Las hojas de características de estos equipos se adjuntan en la documentación e incluyen parámetros importantes para el diseño como:

- Velocidad binaria de transmisión
- Ancho De banda de transmisión
- Modulación digital M-QAM
- Máxima potencia de salida
- Sensibilidad en ausencia de interferencias

Además, se proporciona la hoja de especificaciones y el diagrama de radiación de las **antenas AL3-23/MPR** que se usarán en el radioenlace.





## CASO PRÁCTICO: APLICACIÓN DE MAPAS DIGITALES DEL TERRENO Y CÁLCULOS DE INDISPONIBILIDAD EN RADIOENLACES FIJOS

Los transceptores a estas frecuencias se componen de una unidad interna (IDU) y una externa (ODU).

En los radioenlaces actuales, conviven dos tecnologías de transmisión:

- Las basadas en multiplexación en el tiempo TDM (originalmente, multiplexaban canales telefónicos) que consisten en multiplexar los canales en múltiplex cada vez mayores siguiendo una jerarquía establecida (PDH o SDH).
- Las basadas en la transmisión de tráfico Ethernet, de naturaleza paquetizada. En este caso, los canales físicos radio se combinan en un único canal lógico, lo que permite mejorar la utilización de los recursos físicos, mejorando la eficiencia de transmisión.

Para los equipos con tecnología TDM, la capacidad de transmisión de los equipos se expresa en función de las jerarquías digitales síncrona y asíncrona. En las dos tablas siguientes, se muestra la capacidad de cada tipo de conexión, así como su capacidad útil, es decir, la dedicada exclusivamente a transmitir datos de información.

Line Designation	Line Rate	Equivalent 64 kbps payload (data or voice) channels
<b>North America</b>		
DS0	64 kbps	1
T1 (DS1)	1.544 Mbps	24
T1C (DS1C)	3.152 Mbps	48
T2 (DS2)	6.312 Mbps	96
T3 (DS3)	44.736 Mbps	672
T4 (DS4) NA	139.264 Mbps	2016
T4 (DS4) Canada	274.176 Mbps	4032
<b>Europe</b>		
DS0	64 kbps	1
E1 (DS1)	2.048 Mbps	30
E2 (DS2)	8.448 Mbps	120
E3 (DS3)	34.368 Mbps	480
DS4	139.268 Mbps	1920

**Tabla 1. Jerarquía Plesiócrona (PDH)**

Line Designation	Line rate	Equivalent 64Kbps payload for ETSI (E)	Equivalent 64Kbps payload for ETSI (T)
<b>SDH</b>			
STM-0	51.840 Mbps	28 DS1	21 E1
STM-1	155.520 Mbps	84 DS1	63 E1
STM-4	622.080 Mbps	356 DS1	252 E1
STM-16	2488.320 Mbps	1344 DS1	1008 E1
STM-64	9952.280 Mbps	5576 DS1	4032 E1

**Tabla 2. Jerarquía Síncrona (SDH)**



Los equipos que usan tecnología Ethernet, simplemente reflejan la velocidad máxima total que son capaces de transmitir en el canal.

**Se considera que la atenuación introducida por los elementos de conexión entre las antenas y las ODU (outdoor unit) es de 1,5 dB.**

Los equipos considerados son compatibles con el **plan de frecuencias** descrito en la **recomendación UIT-R F.637**. En concreto, el plan de disposición se corresponde al Anexo 1 relativo al Reino Unido y es el que se utilizará para esta práctica, aunque la zona territorial no corresponda.

La elección del equipo, la separación de canal elegida y la modulación determinan el valor del umbral de recepción, parámetro crítico de la planificación que determina la distancia máxima entre estaciones intermedias del trayecto para asegurar el intercambio de información entre un número determinado de canales con una determinada capacidad. Por tanto, a partir de las características del equipo seleccionado y los objetivos de calidad, obtendremos el número mínimo de vanos del radioenlace.

**Para asegurar los valores a lo largo del tiempo y del rango de operación se recomienda restar 2dB a la potencia transmitida y sumar 2dB a la sensibilidad de todos los equipos.**

#### **4. DISPONIBILIDAD**

La calidad de disponibilidad depende de las interrupciones de más de 10 segundos que pueden aparecer a lo largo de un año. Los fenómenos que afectan a la disponibilidad del radioenlace son el fallo de los equipos y los desvanecimientos por lluvia, pues son los que dan lugar a interrupciones de más de 10 segundos.

Se ha optado por una configuración de **atenuador variable** para compensar estos desvanecimientos, de manera que en condiciones de cielo claro se transmite con la potencia máxima disponible y en el receptor se coloca un atenuador variable con un margen dinámico igual al máximo desvanecimiento asumible en el sistema. El atenuador variable tomará valores dentro de su margen dinámico según las condiciones atmosféricas para asegurar un nivel de potencia constante a la entrada del demodulador. En función del margen entre la potencia recibida en condiciones de cielo claro y la sensibilidad ( $MD = P_{rx} - U$ ), **se puede calcular la indisponibilidad** de un elemento del trayecto según la metodología del apartado **2.4.1 de la UIT-R P.530**:

- Se obtiene la intensidad de precipitación  $R_{0,01}$  superada durante el 0,01% del tiempo (UIT-R P.837) y los valores de alfa y k del programa de Matlab que proporciona la UIT-R.
- Se calcula la atenuación específica,  $\gamma_R$  (dB/km), para la frecuencia, polarización e intensidad de precipitación de interés (UIT-R P.838)
- Se calcula la longitud efectiva del trayecto  $L_{ef}$

## CASO PRÁCTICO: APLICACIÓN DE MAPAS DIGITALES DEL TERRENO Y CÁLCULOS DE INDISPONIBILIDAD EN RADIOENLACES FIJOS

- Una estimación de la atenuación del trayecto excedida durante el 0,01% del tiempo viene dada por:  $A_{001} = \gamma_R * L_{ef}$
- Se calcula la atenuación excedida por la lluvia  $F_q$  en un  $100*q\%$ , en función de  $q$ , de  $F_{001}$  y de unas constantes  $C_1$ ,  $C_2$ , y  $C_3$  que dependen de la frecuencia.

Posteriormente, para entender los **efectos de los desvanecimientos** por lluvia se plantea hacer una simulación con una herramienta Software *simfading.m* basada en los estudios estadísticos de la lluvia que proporciona la UIT en gran parte del planeta.

La **herramienta software realiza simulaciones de lluvia continuada**, es decir, sin tener en cuenta los periodos del año en los que no llueve, de modo que hay que tener en cuenta, para cada región geográfica, la **probabilidad de lluvia en un año medio  $p_0\%$** . La **indisponibilidad causada por la lluvia** (probabilidad de que el sistema esté indisponible, es decir, que se reciba menos del umbral) consiste en una **probabilidad condicionada**: el **producto de la probabilidad de que llueva  $p_0$  y la probabilidad de que la intensidad de lluvia supere un cierto valor  $P(R > R_p)$** .

La **indisponibilidad total del trayecto** según la recomendación UIT-R G.827 se corresponde con la suma de las relaciones de indisponibilidad de los elementos que constituyen el trayecto:

$$UR = \sum UR_{ep}$$

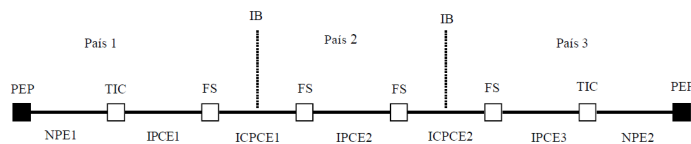


Figura 5. Topología simple de un radioenlace





## 5. ENUNCIADO DEL CASO DE ESTUDIO

Un operador de comunicaciones desea establecer una serie de **backhauls** (enlaces que unen la red de acceso con el núcleo de red) que le permitan poder cursar el tráfico de voz y datos generado por sus clientes en las diferentes estaciones base hacia el núcleo (core) de la red. Con el objetivo de hacer un despliegue rápido y una inversión progresiva que le permita aumentar la capacidad de la conexión a medida que va aumentando el tráfico de sus clientes, decide establecer algunos de los backhauls mediante **radioenlaces del servicio fijo a 23GHz**.

El equipo de ingenieros encargado de **aportar la solución** debe considerar la conveniencia de transportar tráfico Ethernet o tráfico TDM, según sea el planteamiento de red que realicen.

En este caso, se desean planificar los backhauls que conectan cuatro de las capitales de Castilla y León con Valladolid:

- **Valladolid – Ávila**
- **Valladolid - Salamanca**
- **Valladolid - Segovia**
- **Valladolid - Zamora**

A continuación, se detallan las coordenadas exactas de los puntos que deben ser conectados en cada una de las ciudades:

- **Valladolid [41º 36' 55,7178", -4º 41' 53,2732"]**
- **Ávila [41º 5' 17,8527", -5º 8' 42,795]**
- **Salamanca [41º 0' 27,0793", -5º 36' 35,5964"]**
- **Segovia [40º 58' 34,6790", -4º 9' 48,3019"]**
- **Zamora [41º 31' 57,0324", -5º 46' 3,1158"]**

### Datos de la red:

Frecuencia **23 GHz**

Polarización **horizontal**

Disponibilidad del radioenlace: **99%**

Cada equipo elegirá un radioenlace entre las cuatro opciones posibles y presentará una propuesta completa que detalle **la localización de las estaciones, el número de radiocanales y capacidad asociada y el cumplimiento de los requisitos de calidad de indisponibilidad por lluvia**.

## TAREA 1 – ESTUDIO DE VIABILIDAD

Partiendo de los equipos disponibles y del plan de frecuencias asociado a la banda de 23 GHz, cada grupo seleccionará la **capacidad de su radioenlace**. Dicha elección se acompañará de un **estudio de viabilidad** o número de vanos adecuado para cumplir con los requisitos de calidad. El equipo transceptor seleccionado deberá ser compatible con los estándares de la ETSI (European Telecommunication Standards Institute).

El **estudio de viabilidad** se llevará a cabo partiendo de las **características de lluvia** del radioenlace (Intensidad de lluvia en el punto medio del mismo) y de la **máxima longitud del vano recomendada, en este caso 40Km**. Para distancias entre estaciones terminales mayores de 40Km, el número inicial de vanos será siempre mayor de uno.

En el **cálculo de la atenuación por propagación básica** no se considerarán las atenuaciones por difracción, puesto que se asume que en la solución definitiva la altura de las antenas será tal que asegure despejamiento suficiente; sin embargo, no se puede obviar la atenuación añadida debida a la **absorción por gases atmosféricos** a estas frecuencias, que también depende de la distancia.

Para **determinar la intensidad de lluvia superada en el 0,01% del tiempo  $R_{0,01}$** , se utilizará el programa de Matlab proporcionado por la UIT-R. En el **estudio de viabilidad**, se considerarán como **coordenadas las asociadas al punto intermedio del radioenlace completo** independientemente del número de vanos que tenga. Para **convertir** las coordenadas de Proyecto Radio expresadas en **grados, minutos y segundos** a las coordenadas en **grados decimales**, se puede hacer uso de cualquier conversor web como por ejemplo: <https://convertir-grados-minutos-y-segundos-a-decimales.todala.info/>

Además de la indisponibilidad debida a la propagación, se debe tener en cuenta la **indisponibilidad debida a los equipos**.

- Un valor típico de **MTBF son 20 años**.
- El **MTTR** es función del contrato de mantenimiento establecido con el fabricante. Los MTTR son los siguientes para los distintos equipos:
  - AVIAT ECLIPSE ODU300HP/EP: 36 horas
  - ALCATEL-LUCENT 9500 MCC ODU 300HP: 24 horas
  - TRUEPOINT 5000: 16 horas
  - MOTOROLA PTP 800: 45 horas

Además de la indisponibilidad debida a la propagación, se debe tener en cuenta la indisponibilidad debida a los equipos.



- Un valor típico de MTBF son 20 años.
- El MTTR es función del contrato de mantenimiento establecido con el fabricante. Podéis considerar un valor típico de 24 horas

**A partir de la  $A_{0,01}$  y el margen dinámico del atenuador variable del receptor, se obtendrá la indisponibilidad para cada vano. La suma de las indisponibilidades de todos los vanos más la de los equipos no debe superar el 1%. Si esta condición no se cumple, se añadirá una estación intermedia y se repetirán los cálculos. Se repetirá el procedimiento sucesivamente hasta cumplir con el criterio de indisponibilidad. El número de vanos resultante será un número variable de 1 a 5.**

En la **longitud de los vanos** no solo influye la limitación introducida por el valor máximo de indisponibilidad permitida, sino también la condición de línea de vista radioeléctrica, que va a venir marcada por la **orografía** del terreno. Por ello, es también conveniente evaluar simultáneamente el **número de vanos** que podemos necesitar **en función de la orografía del terreno**, así como el **vano de mayor longitud del radioenlace**.

Además, **las estaciones en el radioenlace real deben situarse en zigzag**, por lo que el número de vanos reales siempre deberá ser mayor que el número de vanos teórico. Se puede considerar como número de vanos reales el **número de vanos del cálculo teórico más uno**.

En esta primera fase de selección de las localizaciones de los repetidores, se evalúan los vanos mediante los perfiles del software PROYECTO RADIO, en el que las **alturas de las antenas por defecto son 10 m**. Por tanto, un vano se considerará **despejado, aunque exista algún obstáculo** en el mismo, **siempre que dicho obstáculo se pueda salvar aumentando las alturas de las antenas hasta un máximo de 40m**.

## TAREA 2 – PLANIFICACIÓN FINAL

Una vez realizado el estudio de viabilidad, se debe llevar a cabo la planificación final del radioenlace.

Por una parte, se calcularán las alturas de las antenas para todos los vanos, siguiendo el siguiente procedimiento:

- Calcular simultáneamente las alturas de las antenas en un sentido del radioenlace.
- Calcular simultáneamente las alturas de las antenas en el otro sentido. Usar la función **SWAP LINKS** para cambiar el sentido del radioenlace
- Escoger el conjunto de alturas mejor.
- Evaluar el mejor conjunto de valores con el objetivo de tratar de optimizar la altura de los mástiles, si se considera viable.

## CASO PRÁCTICO: APLICACIÓN DE MAPAS DIGITALES DEL TERRENO Y CÁLCULOS DE INDISPONIBILIDAD EN RADIOENLACES FIJOS

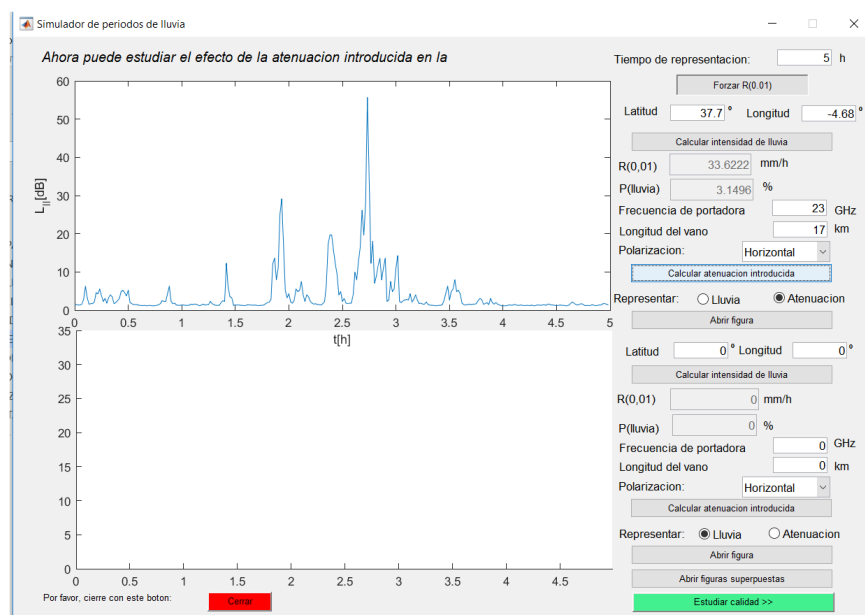
Para ello se utilizará la opción **CustomFZ** de PROYECTO RADIO que nos permite seleccionar el despejamiento objetivo tanto para  $k=4/3$  como para el  $K$  anómalo. Se seleccionarán ambos valores de acuerdo al procedimiento de la recomendación UIT-R P.530.

Adjuntar en el informe el valor del  $k$  anómalo para cada vano.

Para optimizar las alturas de los mástiles, se calcularán simultáneamente todas las alturas en un sentido, seguidamente todas las alturas en sentido contrario, y por último se evaluará si se deben recalcular las alturas en alguno de los vanos fijando uno de los extremos, para optimizar la altura de los mástiles.

Por otra, se realizarán los cálculos de indisponibilidad para los vanos reales, teniendo en cuenta esta vez el punto medio de cada vano para los cálculos de lluvia.

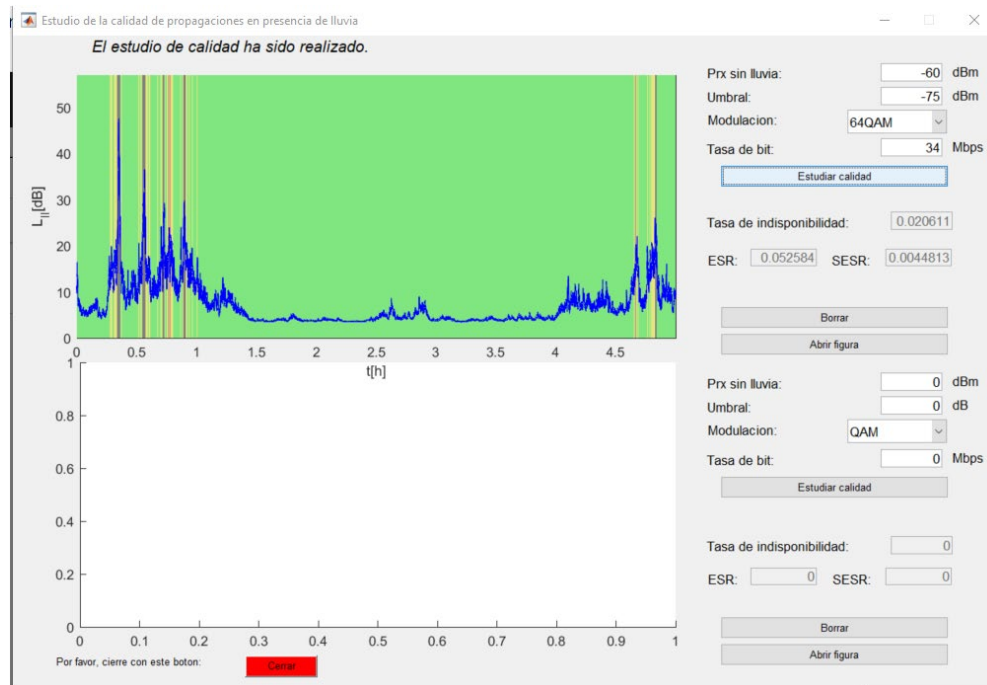
**Por último, se simularán 5 horas de lluvia continuada** en el programa simfading para el punto medio de cada uno de los vanos finales resultantes. Se adjuntarán las imágenes de la simulación y los valores de  $R_{0,01}$ , de la **atenuación por lluvia superada en el 0,01%** y de la **probabilidad de lluvia en un año medio  $p_0\%$** . Se compararán en primer lugar los datos de  $R_{0,01}$  con los obtenidos del programa Matlab de la UIT-R para el mismo punto



En segundo lugar, se estudiará la calidad de radioenlace, introduciendo los datos de cada vano. Se debe comparar la tasa de indisponibilidad (en tanto por uno) obtenida del simfading, con la tasa de indisponibilidad  $q$  calculada teóricamente para cada vano y obtener conclusiones sobre las similitudes o diferencias observadas. Además, se adjuntará la gráfica resultante del estudio de calidad.

CURSO 2020-21

David de la Mata Moya  
Judith Redoli Granados



## CONCLUSIONES

Una vez finalizada la planificación se debe redactar una justificación razonada de los motivos que han llevado a la selección de la solución definitiva y las conclusiones que se han recabado a lo largo de la realización de la planificación del radioenlace

## 6. PROYECTO RADIO

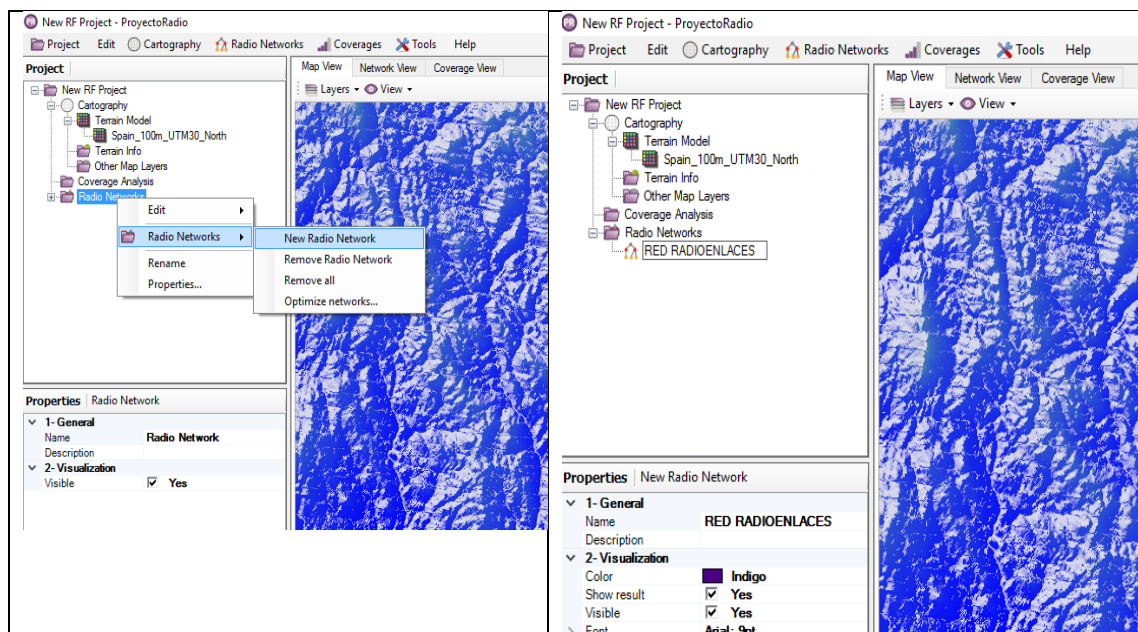
### CREAR UN PROYECTO Y UNA RED

Crear **un proyecto** (**Project->New Project** y cargar la cartografía:

- Nos pide el formato de la altimetría y seleccionamos ATDI geo altimetry format. Cached versión.
- Cargamos el fichero Spain\_100m\_UTM30\_North.geo
- Seleccionamos la zona UTM 30 y el hemisferio norte

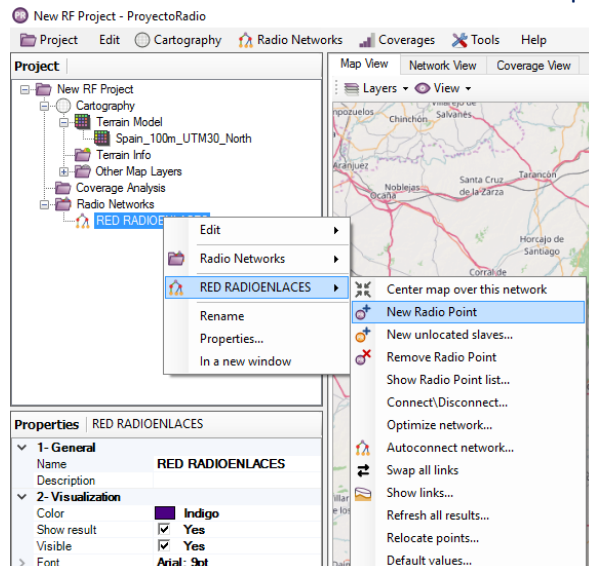
Crear nueva red (**Radio Network->New Radio Network**) Y ponerle un nombre (pinchando sobre el nombre, se puede modificar, por ejemplo, RADIOENLACES)

## CASO PRÁCTICO: APLICACIÓN DE MAPAS DIGITALES DEL TERRENO Y CÁLCULOS DE INDISPONIBILIDAD EN RADIOENLACES FIJOS



### CREAR LOCALIZACIONES PARA LAS ESTACIONES EN UNA RED

Con la función **New Radio Point** del Menú desplegado al pinchar sobre la RED, se crea una nueva



localización. Al pinchar sobre el punto radio, aparecen las coordenadas de este en la esquina inferior izquierda. Podemos modificarlas. Esto es útil para introducir las estaciones inicial y final de la red.

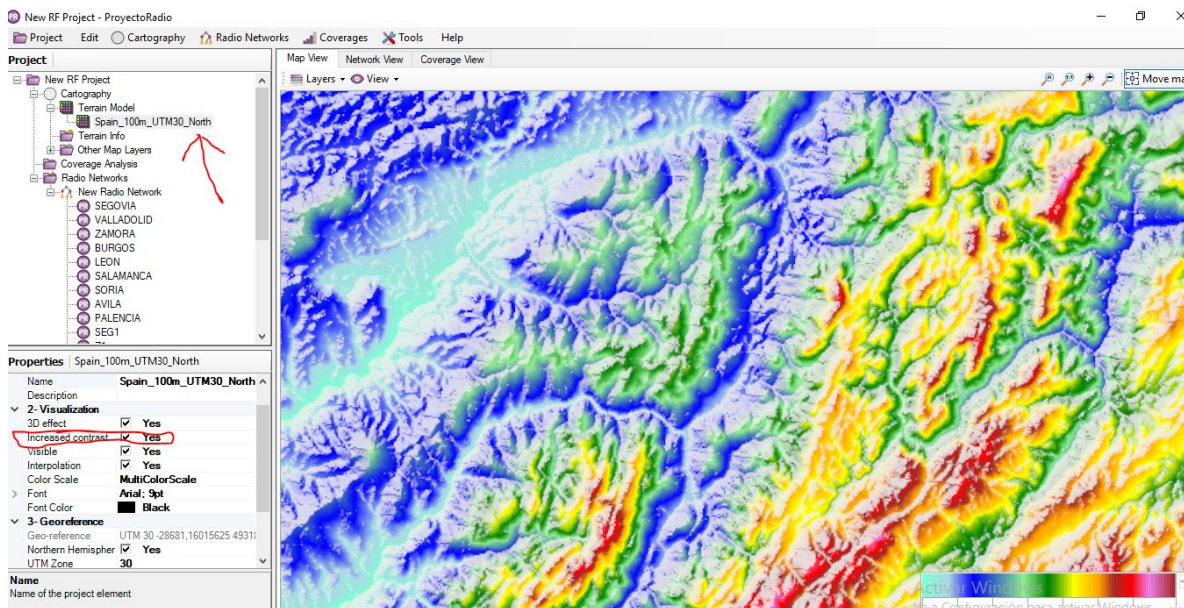
De la misma forma, se puede crear una nueva estación en el mapa y moverla hacia donde se desee. Para ello se selecciona el nuevo punto con **CTRL+ CLIC BOTÓN IZQUIERDO** y posteriormente se pulsa **SHIFT + CLIC BOTÓN IZQUIERDO** en el punto del mapa a donde se quiere mover la estación. Esto resulta muy útil para situar las estaciones intermedias.



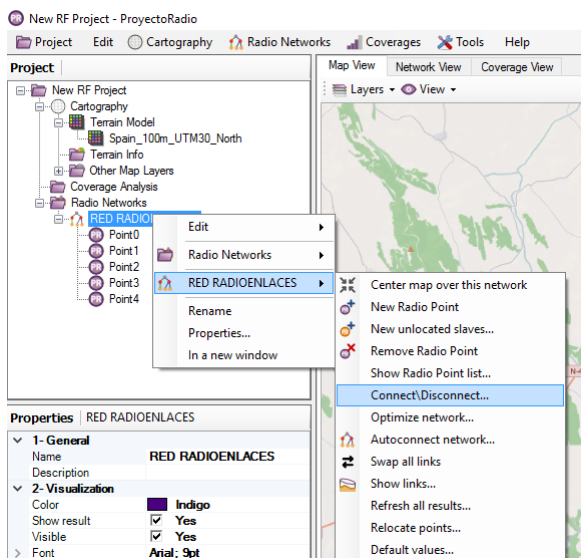
## CASO PRÁCTICO: APLICACIÓN DE MAPAS DIGITALES DEL TERRENO Y CÁLCULOS DE INDISPONIBILIDAD EN RADIOENLACES FIJOS



Con el fin de aumentar el contraste de color de las alturas del terreno, pincha en el modelo de terreno **Spain\_100m\_UTM30\_North** señalado con la flecha en la figura siguiente y asegúrate de que la opción **Increased contrast** está habilitada.



### CONECTAR ESTACIONES RADIO Y AJUSTAR EL PERFIL

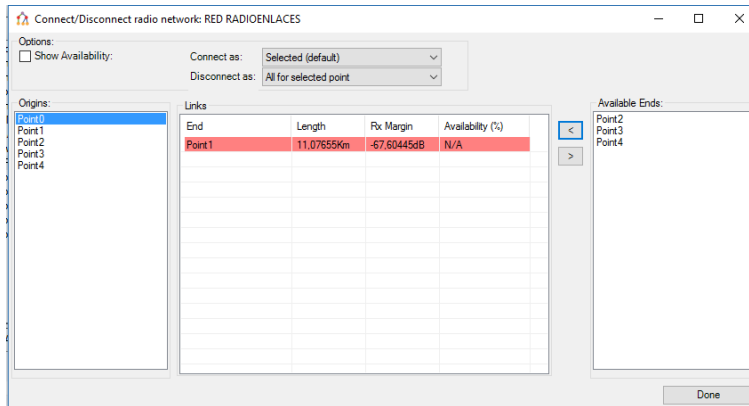


Una vez ubicadas todas las estaciones intermedias, se procederá a conectarlas.

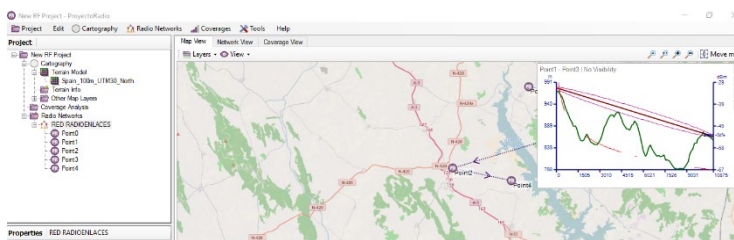
La función **Connect/Disconnect** del mismo menú permite conectar y desconectar cualesquiera dos puntos radio ubicados en el mapa.

Se debe crear el radioenlace completo conectando en serie las estaciones desde un extremo a otro, pasando por todas las estaciones intermedias.

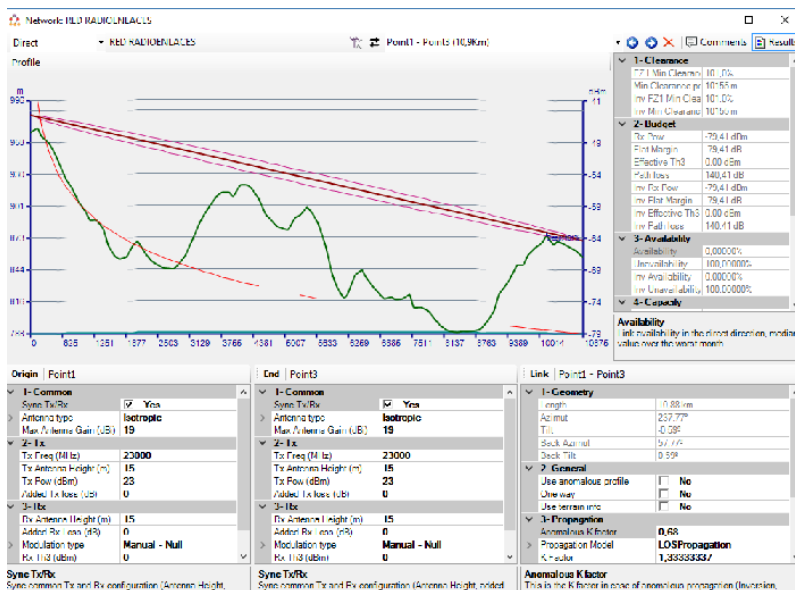
## CASO PRÁCTICO: APLICACIÓN DE MAPAS DIGITALES DEL TERRENO Y CÁLCULOS DE INDISPONIBILIDAD EN RADIOENLACES FIJOS



Al pulsar en Connect/Disconnect, aparece la siguiente ventana, donde se puede seleccionar cualquier estación como origen, y pulsando el signo < se le asocia la estación final correspondiente. Se repite esta operación para cada una de estaciones hasta formar el radioenlace completo.



Cuando dos estaciones están conectadas, se puede visualizar el perfil entre ellas pulsando **CTRL + CLIC BOTÓN IZQUIERDO** sobre el enlace

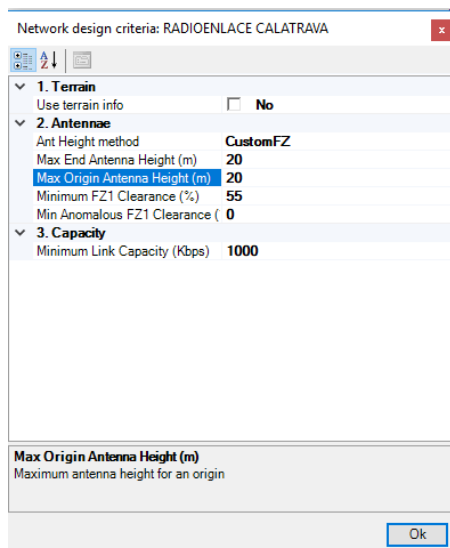


Una vista más completa se obtiene pinchando en la pestaña **NETWORK VIEW**. En esta ventana se describen todos los parámetros del enlace. Además, al pinchar en **Results** en la esquina superior derecha se puede ver el mínimo despejamiento de la Primera Zona de Fresnel en porcentaje, además de otros parámetros, como las pérdidas de espacio libre en el vano.

Una vez generado el perfil, se puede utilizar la función **Relocate** del mismo menú. Esta función, permite recolocar un punto buscando la cota de mayor altura en sus alrededores. Para ello se debe especificar en cuantas celdas de cartografía se debe mover el programa para buscar esa máxima altura. El tamaño de la celda de cartografía es de 100 x 100m.



## PARÁMETROS DE DISEÑO POR DEFECTO



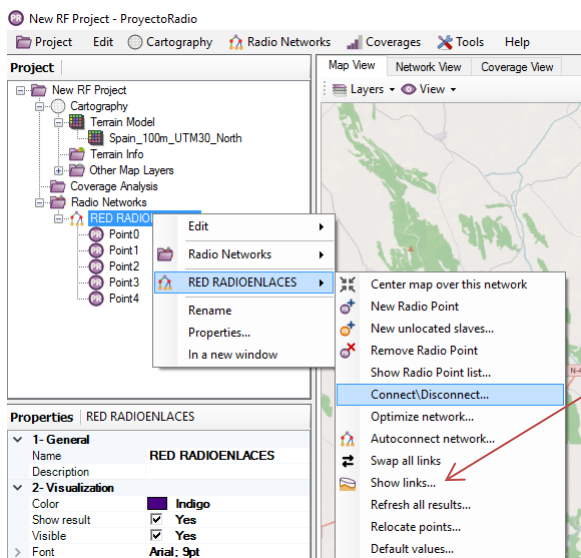
La opción **Design Criteria**, permite definir el método de cálculo de las alturas de las antenas, así como la altura máxima por defecto.

Se pueden seleccionar tres métodos:

- ITU\_P\_530\_Full. Sigue todos los pasos de la recomendación, pero considerando en condiciones normales un despejamiento del 60% en lugar del 100%
- ITU\_P\_530\_Normal. Calcula las alturas solo en función del K estándar.
- CustomFZ. Calcula las alturas solo en función del K estándar para el objetivo de despejamiento deseado.

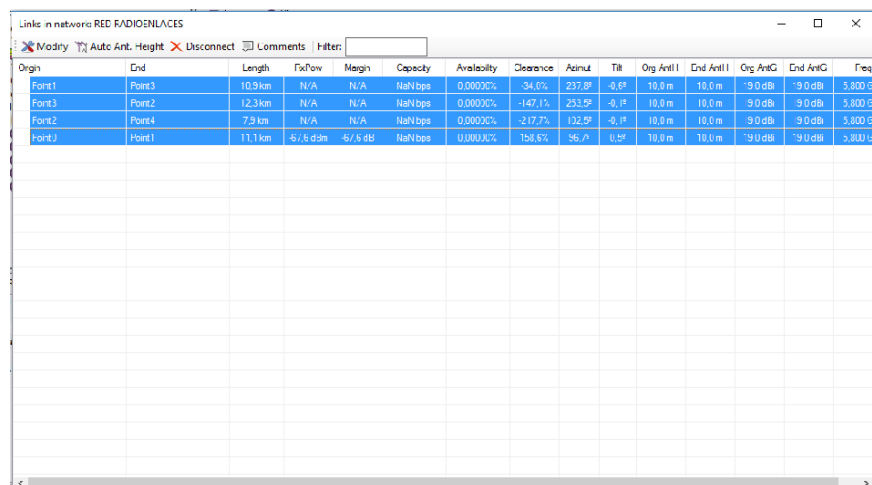
En este caso se debe seleccionar el método **CustomFZ** con un despejamiento del 100% para calcular las alturas con el factor **K estándar** y limitaremos la altura máxima de las antenas en ambos extremos a **40 metros**.

## CALCULAR LAS ALTURAS DE LAS ANTENAS



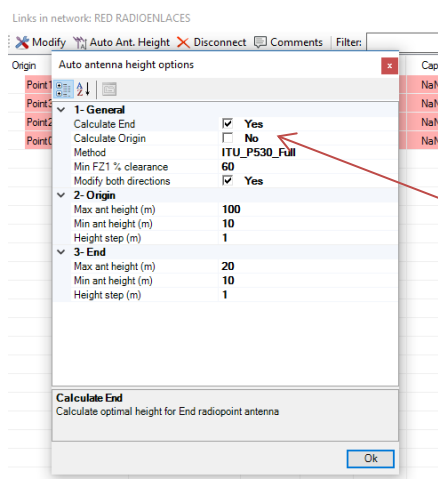
Para calcular las alturas de las antenas, se debe seleccionar la función **SHOW LINKS** del Menú de la RED para ver los parámetros de todos los vanos.

## CASO PRÁCTICO: APLICACIÓN DE MAPAS DIGITALES DEL TERRENO Y CÁLCULOS DE INDISPONIBILIDAD EN RADIOENLACES FIJOS



Origin	End	Length	Fx/Fw	Margin	Capacity	Availability	Clearance	Azimuth	Tilt	Org Ant H	End Ant H	Org Ant G	End Ant G	Freq
Point1	Point3	10.9 km	N/A	N/A	NaNbps	0.0000%	34.0%	237.8°	-9.6°	10.0 m	10.0 m	-9.0 dB	-9.0 dB	5.800 MHz
Point3	Point2	12.3 km	N/A	N/A	NaNbps	0.0000%	-147.1%	253.5°	-8.1°	10.0 m	10.0 m	-9.0 dB	-9.0 dB	5.800 MHz
Point2	Point4	7.9 km	N/A	N/A	NaNbps	0.0000%	-217.7%	122.5°	-8.1°	10.0 m	10.0 m	-9.0 dB	-9.0 dB	5.800 MHz
Point3	Point1	11.1 km	6/5 dB	6/5 dB	NaNbps	0.0000%	758.6%	56.7°	0.5°	10.0 m	10.0 m	-9.0 dB	-9.0 dB	5.800 MHz

Al seleccionar uno o varios vanos simultáneamente con **CTRL+ CLIC BOTÓN IZQUIERDO** (se marcan en color azul), se habilita el botón **Auto Ant Height**, que calcula las alturas de las antenas para cada vano.



Links in network: RED RADIOENLACES

Modify Auto Ant. Height Disconnect Comments Filter:

Origin Auto antenna height options

Point1 Point2 Point3 Point4

1- General

Calculate End ☒ Yes

Calculate Origin ☐ No

Method ITU\_P530\_Full

Min F21 % clearance 60

Modify both directions ☒ Yes

2- Origin

Max ant height (m) 100

Min ant height (m) 10

Height step (m) 1

3- End

Max ant height (m) 20

Min ant height (m) 10

Height step (m) 1

Calculate End

Calculate optimal height for End radiopoint antenna

Ok

Al pulsar el botón **Auto Ant Height** aparece una ventana con los objetivos definidos previamente en Design Criteria. Se pueden volver a seleccionar el método de cálculo y las alturas máxima y mínima.

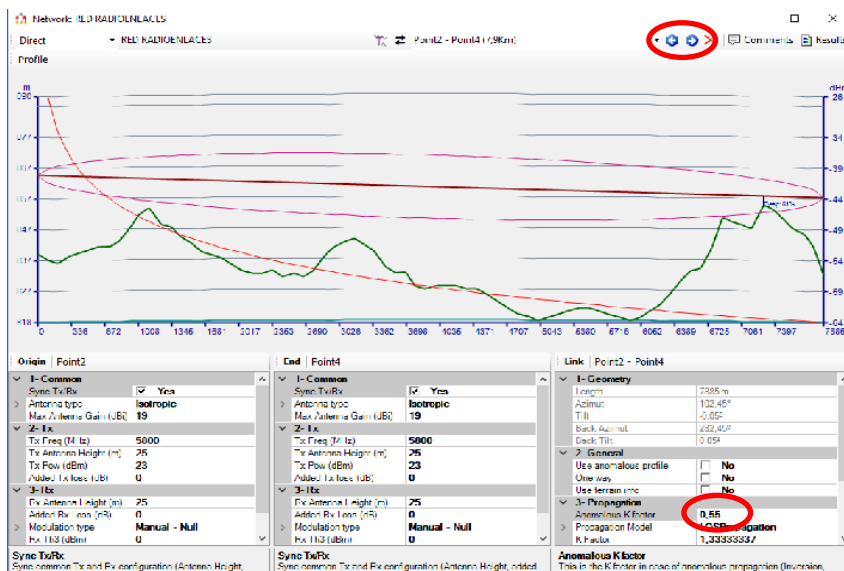
Además, se debe seleccionar si se desean **calcular las alturas en los dos extremos del vano o solo en uno de ellos**

Las nuevas alturas de las antenas se actualizan en la fila correspondiente a cada vano en la ventana **SHOW LINKS**, así como en **NETWORK VIEW**.

### FACTOR K ANÓMALO

Proyecto Radio calcula el **factor K anómalo** para todos los enlaces de una red. En este caso, se está planificando un radioenlace de varios vanos, por lo que Proyecto Radio mostrará el factor K anómalo de cada uno de los vanos del radioenlace en función de la gráfica de la Recomendación UIT P-530. El valor del K anómalo aparece junto con los datos de propagación en la esquina inferior derecha de la pantalla que muestra el enlace. Para acceder a dicha ventana basta seleccionar la pestaña **NETWORK VIEW**.

**El factor K anómalo solo es necesario en enlaces cuya distancia sea superior a 18 km.**



Se puede navegar de un vano a otro con las flechas de la parte superior derecha para ver el factor k anómalo para cada vano.

## PROCEDIMIENTO PARA CALCULAR LAS ALTURAS DE LAS ANTENAS

Una vez situadas todas las estaciones del radioenlace, se deben calcular las alturas de las antenas. El procedimiento es el siguiente:

1. Se introducen los parámetros por defecto en **Design Criteria**, según se ha especificado en el apartado correspondiente.
2. Se seleccionan **todos los vanos** y se habilita la opción de **calcular las alturas de los dos extremos** en AutoAntennaHeight. Se apuntan las alturas resultantes.
3. Para los enlaces cuya longitud sea mayor de 18 km, se debe **comprobar si el despejamiento para el K anómalo es mayor del 0%**. Para ello, **se sustituye** el valor  $k=4/3$  por el valor del **k anómalo** en la ventana NETWORK VIEW del vano. **Si el despejamiento es igual o mayor del 0%** las alturas calculadas son válidas.
4. **Si el despejamiento es menor del 0%**, se recalculan las alturas de las antenas para este **valor de k** especificando como condición customFZ =0%. Una vez se hayan calculado las nuevas alturas, es **IMPORTANTE** volver a restaurar el valor de K a 4/3.

Una vez hecho el cálculo de las alturas en un sentido, podéis utilizar la función **SWAP LINKS** para calcularlas en sentido contrario y obtener el conjunto mejor de alturas mejor.

Tened en cuenta que **en un cualquier repetidor las antenas** que apuntan a uno y otro vano deben estar **separadas al menos un metro en altura**, y que un mejor diseño implica también **minimizar el número de torres mayores de 10 metros en cada emplazamiento**.