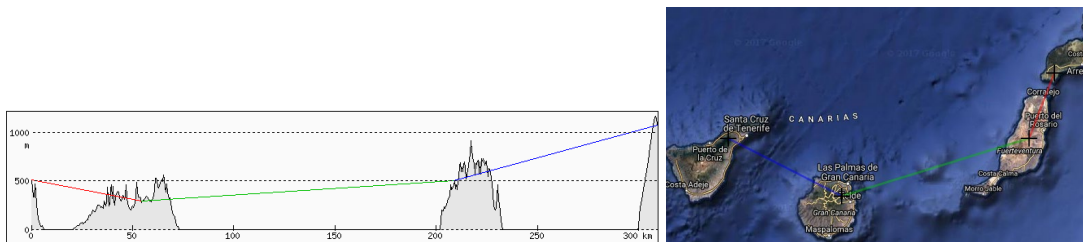




PRÁCTICA 2

PROPAGACIÓN EN PRESENCIA DE MÚLTIPLES OBSTÁCULOS



1. Pérdidas por difracción

En esta práctica se pretende trabajar con el modelo Deygout para tres o más obstáculos y los modelos de dos obstáculos de la recomendación UIT-R P.526 relativa a la metodología para calcular las pérdidas por difracción. Se pueden consultar los métodos de interés en:

- Capítulo 3. Apartado 3.10.3 Múltiples obstáculos del libro Transmisión por Radio de Jose María Hernando Rábanos, Editorial Ramón Areces.
- Anexo 1 – 4.1 Obstáculo único en arista en filo de cuchillo
- Anexo 1 – 4.2 Obstáculo único de forma redondeada
- Anexo 1 – 4.3 Dos aristas aisladas

El objetivo es utilizar el método de Deygout y los métodos del apartado 4.3 de la recomendación UIT-R P.526 para determinar las pérdidas por difracción de un radioenlace que funciona a 2300 MHz y está situado en el Campo de Calatrava, provincia de Ciudad Real. Además, se estudiará la dependencia de estas pérdidas con parámetros de diseño como la frecuencia y el factor de modificación del radio terrestre. Para ello, se proporcionará el perfil de elevación del terreno real entre las dos estaciones fijas.

Finalmente, se trabajará con el apartado 4.2 de la recomendación UIT-R P.526 para calcular las pérdidas por difracción de un radioenlace que funciona a 450 MHz y presenta un solo obstáculo de forma redondeada. Se estudiará la dependencia de dichas pérdidas con la curvatura del obstáculo.

2. Datos del radioenlace con una serie de obstáculos en filo de cuchillo

Se propone un radioenlace entre dos estaciones separadas 20,09 km que trabajan a una frecuencia de 2300Mhz. Los parámetros de las estaciones y de la señal transmitida son los siguientes:

- Potencia transmitida: 23dBm
- Modulación 64-QAM
- Umbral para una BER máxima de 10^{-6} -70,5dBm
- Ganancia de las antenas: 19dB
- Pérdidas en los circuitos de RF: 1 dB
- Frecuencia de trabajo 2300MHz
- Margen de funcionamiento para que el sistema funcione correctamente: 3,7dB

3. Perfil Geográfico del Radioenlace con Múltiples Obstáculos

Para obtener el perfil geográfico, se propone utilizar el programa PROYECTO RADIO de ALBENTIA SYSTEMS, herramienta diseñada para planificar redes WIMAX tanto fijas como móviles. Este software utiliza mapas con datos digitales de elevación del terreno, y está diseñado para altas frecuencias, por lo que nos muestra el despejamiento solo para el peor obstáculo. No obstante, los cálculos de balance de enlace son fiables para cualquier frecuencia. El programa permite crear una red de estaciones radio y visualizar los perfiles entre estaciones.

En el fichero P2_OBST_CUCHILLO_RyR_2020_1.rfj están marcados los obstáculos entre las estaciones finales.

Abre el proyecto ((Project->Open Project). En el panel de la izquierda aparece el esquema del proyecto y debajo las propiedades del elemento que se seleccione en cada momento. En el cuadro de la derecha se pueden mostrar tres vistas, según la pestaña seleccionada (Map View, Network View y Coverage View). En esta práctica utilizaremos las dos primeras vistas: Map View y Network view.

Si la cartografía no está cargada, aparecerá un mensaje. Sigue los siguientes tres pasos para cargarla:

- 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

David de la Mata Moya
Judith Redoli Granados

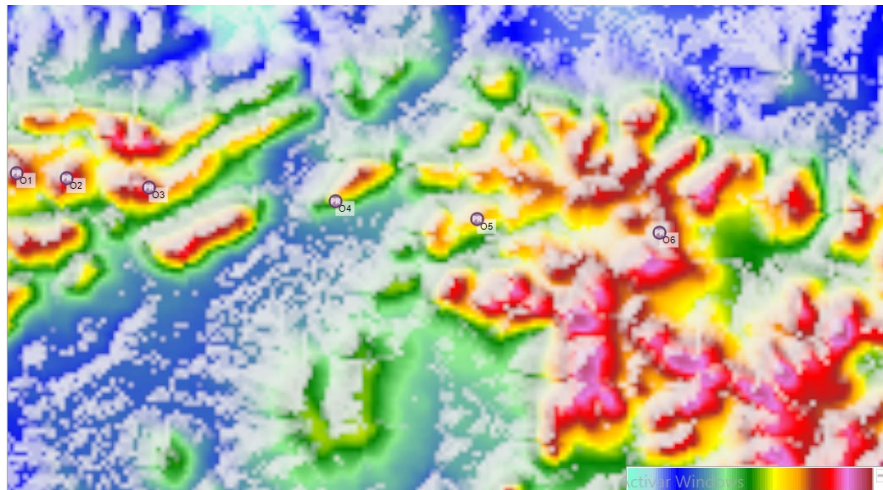


Figura 1. Proyecto Radio. Obstáculos

En primer lugar, selecciona Spain_100m_UTM30_North en el menú de la izquierda y modifica la visualización para obtener mayor contraste. En las propiedades del mapa que aparecen en el cuadro inferior izquierdo selecciona **Increased contrast Yes**. La pestaña Map View se mostrará como en la figura 1.

Crear nueva red (Radio Network->New Radio Network) y ponerle un nombre (pinchando sobre el nombre se puede modificar): RADIOENLACE_CALATRAVA (Figura 2)

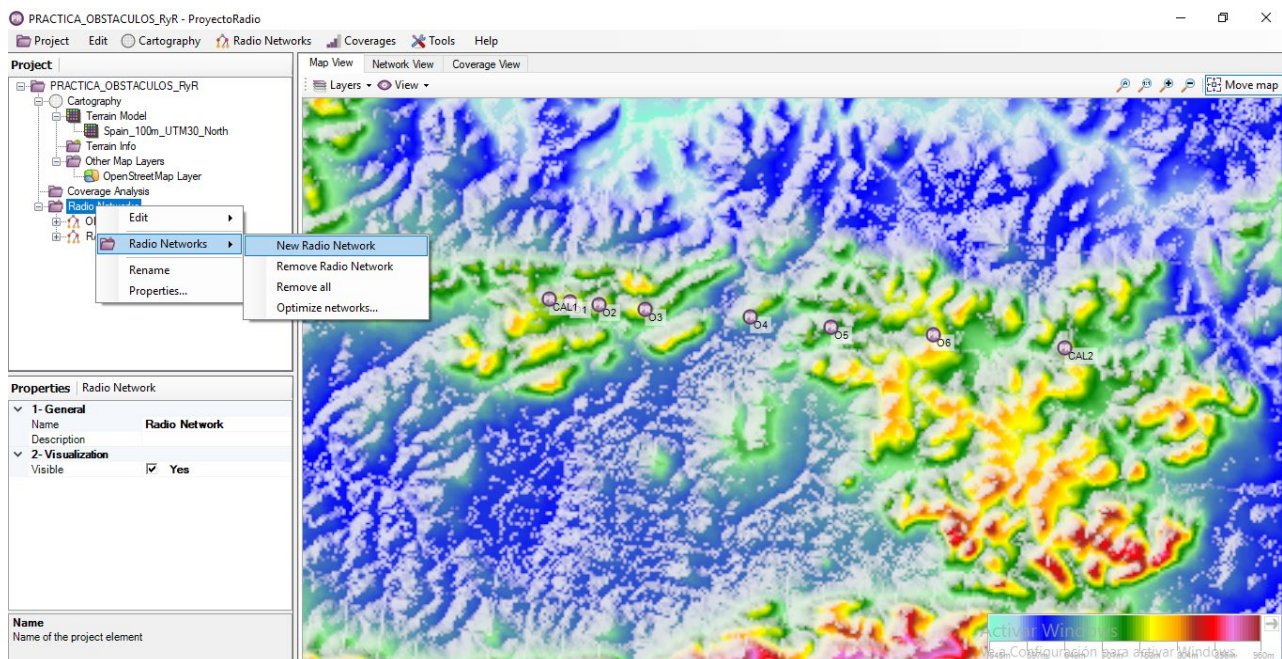


Figura 2. Proyecto Radio. Crear una nueva red

Con la función New Radio Point del Menú desplegado al pinchar sobre la red creada se crea una nueva estación radio (Figura 3). Al pinchar sobre la estación aparecen las coordenadas de esta en la esquina inferior izquierda. Podemos modificarlas (Figura 3). En este caso nuestra red tiene solo un radioenlace, con dos estaciones, cuyas antenas tienen 10m de altura:

- ESTACIÓN 1 (CAL1): 38º 49' 33,1086" N y -4º 8' 49,8632"E
- ESTACIÓN 2 (CAL2): 38º 48' 35,5633"N y -3º 54' 59,6960"E

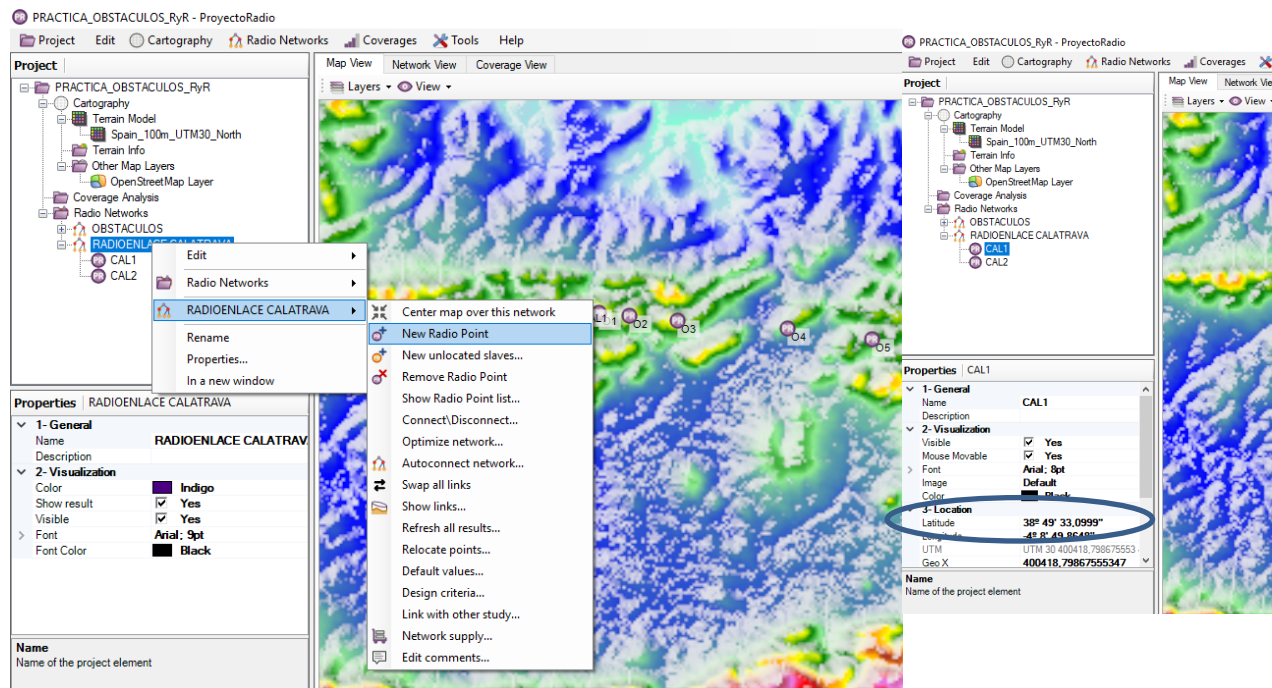


Figura 3. Proyecto Radio. Crear una nueva estación radio y localizarla

PRACTICA_OBSTACULOS_RyR - ProyectoRadio

Project Edit Cartography Radio Networks Coverages Tools Help

Project

- PRACTICA_OBSTACULOS_RyR
 - Cartography
 - Terrain Model
 - Span_100m_UTM30_North
 - Terrain Info
 - Other Map Layers
 - OpenStreetMap Layer
 - Coverage Analysis
 - Radio Networks
 - OBSTACULOS
 - RADIOENLACE CALATRAVA
 - CAL1
 - CAL2

Map View Network View Coverage View

Layers View

Center map over this network

New Radio Point

New unlocated slaves...

Remove Radio Point

Show Radio Point list...

Connect/Disconnect...

Optimize network...

Autoconnect network...

Swap all links

Show links...

Refresh all results...

Relocate points...

Default values...

Design criteria...

Link with other study...

Network supply...

Edit comments...

Options:

Show Availability:

Connect as: Selected (default)

Disconnect as: Selected (default)

Origins:

End	Length	Rx Margin	Availability (%)
CAL1			
CAL2	20.090056m	-72.77595dB	N/A

Available Ends:

Done

Properties RADIOENLACE CALATRAVA

1- General

Name: RADIOENLACE CALATRAVA

Description:

2- Visualization

Color: Indigo

Show result: Yes

Visible: Yes

Font: Arial, 9pt

Font Color: Black

Name

Name of the project element

Una vez que la red está conectada se pueden ver los perfiles en la pestaña Network View (Figura 5).



5

En este modo de visualización también se detallan todos los parámetros por defecto de las estaciones. Pichando sobre cada uno de los parámetros se pueden configurar para adaptarlos a las características de las estaciones utilizadas en el apartado anterior que trabajan a una frecuencia de 2300 MHz y tomando como alturas de las antenas de ambas estaciones 11 m. En cuanto a los parámetros del enlace podemos acceder a la distancia total del enlace (Length) y comprobar que el K factor es 1.33333337 ($k=4/3$) y que Propagation Model es LOSPropagation (propagación por onda directa). Presionando el botón izquierdo del ratón sobre la imagen del perfil, aparece la opción de modificar las propiedades de visualización. Activar las opciones:

- Altitude para ver las cotas del perfil
- Altitude correction para ver la flecha
- Effective Altitude para ver la altura de los obstáculos incluida la flecha
- First Fresnel Zone para ver el primer elipsoide de Fresnel
- LOS para ver el rayo directo
- Minimum clearance para ver el obstáculo que presenta mayor parámetro de difracción
- Rx Pow Graph para ver la potencia recibida en cualquier punto del trayecto suponiendo propagación en espacio libre
- Altitude Axis para ver el eje de alturas
- Distance Axis para ver el eje de distancias
- Corrected altitude grid para ver la rejilla asociada a las alturas
- Th3 Level representa en el eje de potencias el umbral de recepción de los equipos

Por último, en la pestaña Results se puede acceder a cálculos de balance de potencias y de difracción. El campo FZ1 Min Clearance proporciona la relación despejamiento a primer radio de Fresnel para el peor obstáculo del perfil (h/R_1), el Min Clearance Position la distancia a la ESTACIÓN 1 del peor obstáculo y en Minimum location las coordenadas UTM del peor obstáculo.

¡OJO! El programa representa los despejamientos negativos en positivo por simplicidad. A altas frecuencias, los obstáculos siempre van a quedar por debajo del rayo, pues se debe asegurar línea de vista (LOS). Por ello, no se contempla trabajar con obstáculos que corten al rayo.

4. Datos del radioenlace con obstáculo redondeado

Se propone un radioenlace entre dos estaciones caracterizado por los siguientes parámetros:

- Estación 1: [40.3815165954871°N, 5.12928911977383°W]
- Estación 2: [40.4078987821701°N, 5.20141562193749°W]
- Frecuencia RF: 450 MHz
- Altura de las antenas transmisora y receptora: 10m

David de la Mata Moya
Judith Redoli Granados



El perfil geográfico entre las estaciones presenta un obstáculo redondeado cuya superficie se puede aproximar por una parábola que presenta los puntos tangentes con los extremos indicados en la Figura 6.

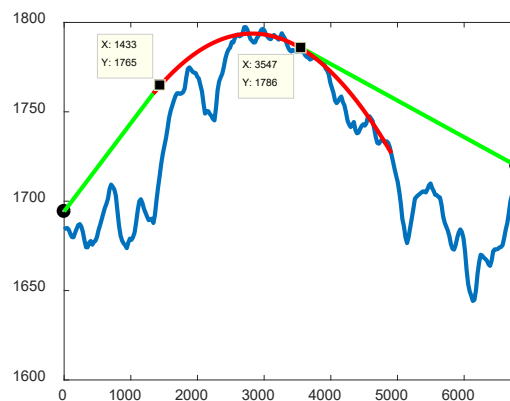


Figura 6. Perfil de un radioenlace fijo con un obstáculo redondeado

Según la recomendación P.526, para estimar las pérdidas por difracción introducidas por el obstáculo redondeado hay que aplicar la siguiente fórmula:

$$L_{\text{difracción}} = J(v) + T(m, n) \quad \text{dB}$$

Para poder desarrollar la fórmula que depende tanto del despejamiento como de la forma del obstáculo redondeado es necesario definir los parámetros relevantes a partir de ajustar una parábola de radio R al perfil del obstáculo cerca de la parte superior (Figura 7):

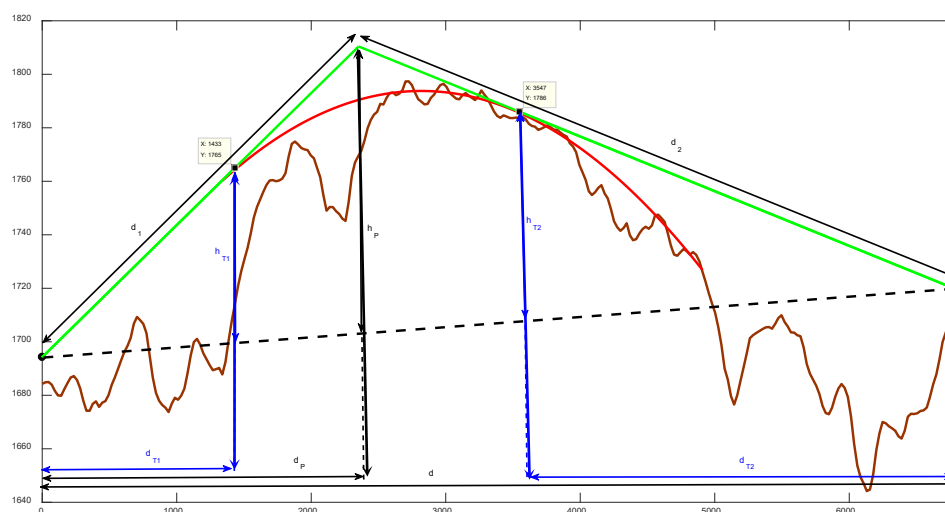


Figura 7. Definición de los parámetros básicos asociados a un obstáculo redondeado

David de la Mata Moya
Judith Redoli Granados

- Punto tangente T1 desde el transmisor a la parábola definido por su distancia al transmisor d_{T1} y su cota h_{T1} . Los datos de cota proporcionados en la Figura 7 incluyen el efecto de la curvatura de la Tierra para $k=4/3$.
- Punto tangente T2 desde el receptor a la parábola definido por su distancia al receptor d_{T2} y su cota h_{T2} . Los datos de cota proporcionados en la Figura 7 incluyen el efecto de la curvatura de la Tierra para $k=4/3$.
- Punto de cruce entre las tangentes P definido por su distancia al transmisor d_P y su cota h_P que incluye el efecto de la curvatura de la Tierra para $k=4/3$.
- Distancia d_1 entre el transmisor y el punto P
- Distancia d_2 entre el receptor y el punto P
- Altura del transmisor h_{TX} con respecto al nivel del mar igual a la cota de la estación transmisora más la altura de la antena
- Altura del receptor h_{RX} con respecto al nivel del mar igual a la cota de la estación receptora más la altura de la antena
- Para calcular el radio de la parábola R y las coordenadas del punto P, d_P y h_P , hay que seguir la siguiente metodología donde todos los parámetros se utilizan en metros:

$$\theta = \frac{h_{T1} - h_{TX}}{d_{T1}} + \frac{h_{T2} - h_{RX}}{d_{T2}}$$

$$\beta = \frac{h_{RX} - h_{TX}}{d} + \frac{h_{T2} - h_{RX}}{d_{T2}}$$

$$d_P = \frac{\beta \cdot d}{\theta}$$

$$h_P = \frac{h_{T1} - h_{TX}}{d_{T1}} d_P + h_{TX}$$

$$R = \frac{d - d_{T1} - d_{T2}}{\theta}$$

Partiendo de estas definiciones se puede interpretar la metodología para estimar $L_{\text{difracción}}$:

- $J(v)$ es la pérdida de Fresnel-Kirchoff debida a una arista en filo de cuchillo equivalente cuya cresta esté en el vértice asociado a un parámetro de difracción v_P

$$J(v_P) = 6,9 + 20 \log \left(\sqrt{(v_P - 0,1)^2 + 1} + v_P - 0,1 \right) \quad \text{dB}$$

- $T(m,n)$ es la atenuación adicional debida a la curvatura del obstáculo, donde c_P es el despejamiento del punto de cruce con respecto a la línea de base que une la antena transmisora con la receptora:

David de la Mata Moya
Judith Redoli Granados



$$T(m,n) = 7,2m^{1/2} - (2 - 12,5n)m + 3,6m^{3/2} - 0,8m^2 \quad \text{dB} \quad \text{para } mn \leq 4$$

$$T(m,n) = -6 - 20 \log(mn) + 7,2m^{1/2} - (2 - 17n)m + 3,6m^{3/2} - 0,8m^2 \quad \text{dB} \quad \text{para } mn > 4$$

$$m = \frac{R \left[\frac{d_1 + d_2}{d_1 d_2} \right]}{\left[\frac{\pi R}{\lambda} \right]^{1/3}}, \quad n = \frac{c_P \cdot \left[\frac{\pi R}{\lambda} \right]^{2/3}}{R}$$

5. Realización de la práctica

ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE LA DIFRACCIÓN EN EL RADIOENLACE

En primer lugar, se procederá al estudio de la influencia de los obstáculos en el radioenlace que se ha implementado en PROYECTO RADIO en una atmósfera estándar ($K=4/3$).

Los datos de cota y altura de antenas de las dos estaciones y de los obstáculos, se deben obtener del programa.

Los seis obstáculos están situados a las siguientes distancias de la estación transmisora CAL1, expresadas en kilómetros:

$$[01, 02, 03, 04, 05, 06] = [0.806 \ 1.910 \ 3.721 \ 7.831 \ 10.955 \ 14.965]$$

Para ello, se deben seguir los siguientes pasos:

EJERCICIO 1. CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS POR DIFRACCIÓN

Calcular las pérdidas por difracción para atmósfera estándar:

1. Determinar el despejamiento en forma de porcentaje del radio de la primera zona de Fresnel y el parámetro de difracción (v) correspondiente a los obstáculos presentes, las alturas consideradas para las antenas y $k=4/3$.
2. Comparar el despejamiento en forma de porcentaje de la primera zona de Fresnel del obstáculo dominante con el obtenido mediante PROYECTO RADIO.
3. Determinar las pérdidas por difracción por múltiples obstáculos considerados como aristas de cuchillo para $k=4/3$

EJERCICIO 2. VARIACIÓN DE LAS PÉRDIDAS POR DIFRACCIÓN CON EL FACTOR K DE LA TIERRA FICTICIA

Representar como varían las pérdidas por difracción a medida que disminuye el factor K para una determinada frecuencia. Para ello, calcular de forma iterativa las pérdidas por difracción por múltiples obstáculos considerados como aristas de cuchillo para los valores de $k=0,5$; $2/3$, 1 y $4/3$ y representarlo en una gráfica.

A partir de la gráfica, extraed vuestras propias conclusiones acerca de la variación con K y los motivos que la producen.

EJERCICIO 3. VARIACIÓN DE LAS PÉRDIDAS DE DIFRACCIÓN CON LA FRECUENCIA

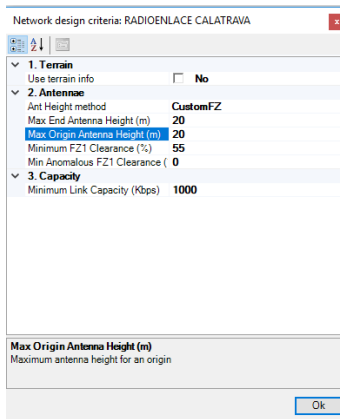
- Representar como varían las pérdidas por difracción en función de la frecuencia para un determinado valor de k, en este caso, $4/3$. Para ello, calcular de forma iterativa las pérdidas por difracción por múltiples obstáculos considerados como aristas de cuchillo para las siguientes frecuencias [300MHz, 1300MHz, 2300MHz, 3300MHz, 4300MHz 7475MHz, 12650MHz, 17825MHz, 23000MHz] y representarlas en una gráfica.
- Representar como varían las pérdidas por difracción en función de la frecuencia para un determinado valor de k, en este caso, $4/3$, en el caso en que el obstáculo dominante tuviera una cota de 815m en lugar de 803m. Para ello, calcular de forma iterativa las pérdidas por difracción por múltiples obstáculos considerados como aristas de cuchillo para los valores de frecuencia [300MHz, 1300MHz, 2300MHz, 3300MHz, 4300MHz 7475MHz, 12650MHz, 17825MHz, 23000MHz] y representarlas en una gráfica.

A partir de las gráficas anteriores, extraed vuestras propias conclusiones acerca de la variación de las pérdidas por difracción con la frecuencia y los motivos que la producen.

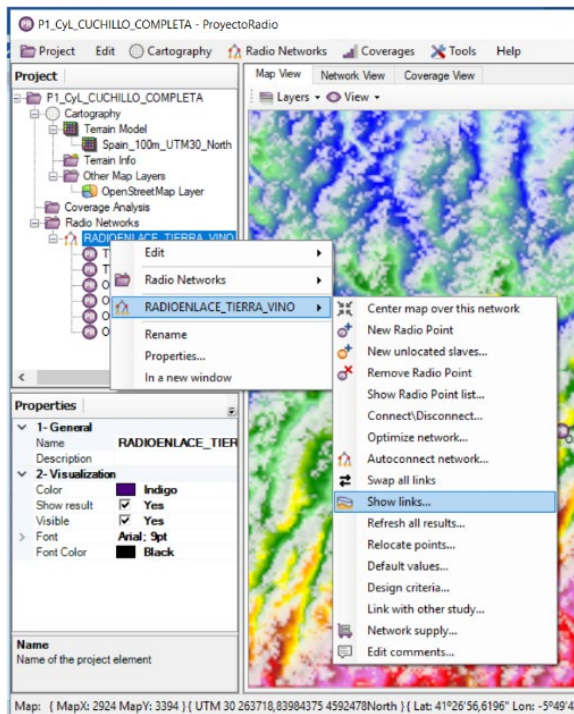
EJERCICIO 4. CÁLCULO DE LAS ALTURAS DE LAS ANTENAS Y BALANCE DE ENLACE

1. Calculad con PROYECTO RADIO las alturas de las antenas para que se cumpla la condición de despejamiento suficiente para la atmósfera estándar.

Para ello, debéis utilizar primero la opción Design Criteria, donde introduciréis vuestra condición de despejamiento suficiente y las máximas alturas de antenas permitidas:



Al seleccionar el radioenlace pinchando sobre él cambia a color azul y el botón Auto Ant Height, que nos permite calcular las alturas de las antenas aparece habilitado.



PRÁCTICA 2: PROPAGACIÓN EN PRESENCIA DE MÚLTIPLES OBSTÁCULOS

Link in network RED RADIOENLACES

Modify Auto Ant. Height Disconnect Comments Filter:

Origin	End	Length	TotPow	Margin	Capacity	Availability	Clearance	AdmUt	Tilt	Org Ant H	End Ant H	Org Ant G	End Ant G	Freq
Point1	Point3	10.9 km	N/A	N/A	NatNbps	0.00000%	34.0%	237.8'	-0.6°	10.0 m	10.0 m	-9.0 dB	-9.0 dB	5.800.0
Point3	Point2	12.3 km	N/A	N/A	NatNbps	0.00000%	-147.1%	253.5'	-0.1°	10.0 m	10.0 m	-9.0 dB	-9.0 dB	5.800.0
Point2	Point4	7.9 km	N/A	N/A	NatNbps	0.00000%	-217.7%	132.5'	-0.1°	10.0 m	10.0 m	-9.0 dB	-9.0 dB	5.800.0
Point2	Point1	11.1 km	5/5 dsm	-6/5 dB	NatNbps	0.00000%	150.6%	96.0'	0.5°	10.0 m	10.0 m	-9.0 dB	-9.0 dB	5.800.0

- Determinar la potencia recibida a la salida de los terminales del receptor teniendo en cuenta tanto las pérdidas por espacio libre como las pérdidas en exceso debidas a la difracción ($k=4/3$) para una frecuencia de 2,3 GHz y las alturas de las antenas calculadas anteriormente. Justificar si el enlace diseñado supera el umbral fijado para ofrecer el servicio de radiocomunicación.
- Debido a las variaciones temporales en los índices de refracción de la troposfera durante un intervalo de tiempo el valor de k se modifica a $2/3$, ¿Seguirá funcionando el servicio durante ese intervalo temporal?

EJERCICIO 5. CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS ORIGINADAS POR UN OBSTÁCULO REDONDEADO

- Determinar el radio de curvatura asociado al obstáculo redondeado del radioenlace considerado para $k=4/3$.
- Determinar el parámetro de difracción que tendría un obstáculo agudo con las coordenadas asociadas al punto de cruce de las tangentes al obstáculo redondeado del radioenlace considerado para $k=4/3$.
- Determinar las pérdidas por difracción asociados al obstáculo redondeado del radioenlace considerado para $k=4/3$.

EJERCICIO 6. VARIACIÓN DE LAS PÉRDIDAS POR OBSTÁCULO REDONDEADO CON EL RADIO DE CURVATURA DEL OBSTÁCULO

- Representar una gráfica con las pérdidas por difracción asociados a un obstáculo con radios de curvatura $R=[0,1; 10; 100; 1000; 10000; 30000; 50000]$ cuyas coordenadas asociadas al

David de la Mata Moya
Judith Redoli Granados



punto de cruce de las tangentes que caracterizan el obstáculo redondeado son siempre las consideradas en el radionelace bajo estudio (es decir d_1 , d_2 y c_p constantes) para $k=4/3$.

CONCLUSIONES

Los resultados y conclusiones se presentarán de modo oral utilizando como base una presentación donde se muestren de forma resumida todos los resultados obtenidos. La presentación tiene que estar disponible para los profesores antes de la presentación utilizando la actividad del aula virtual destinada a tal efecto. Es muy importante ajustarse al tiempo de presentación preparándose de forma muy clara los conceptos y resultados que se quieren exponer y resaltar.