

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIÓN
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA



**Universidad
Politécnica
de Cartagena**



**Desarrollo de una Funcionalidad de Cálculo de Mapas
de Visibilidad Radioeléctrica para la Aplicación
*RadioEarth***

Autor: Pedro José Conesa Sánchez

Director: Leandro Juan Llácer

Junio 2012

Autor	Pedro José Conesa Sánchez
E-Mail Autor	pjcs90@gmail.com
Director	Leandro Juan Llácer
E-Mail Director	leandro.juan@upct.es
Co-Director	Francisco Antonio Navarro Fuentes
E-Mail Co-Director	francisco.navarro@radiatio.com
Título del PFC	Desarrollo de una Funcionalidad de Cálculo de Mapas de Visibilidad Radioeléctrica para la Aplicación <i>RadioEarth</i> .
Resumen:	
<p>El Grupo de investigación de Sistemas de Comunicaciones Móviles (<i>SiCoMo</i>) posee experiencia en el desarrollo de herramientas para la planificación de sistemas de radiocomunicaciones (por ejemplo <i>RADIOGIS</i> o <i>RadioEarth</i> en (www.upct.es/sicom), cuya explotación está siendo llevada a cabo por la empresa de base tecnológica Radiatio Ingeniería S.L. (www.radiatio.com).</p> <p><i>RadioEarth</i>, se utiliza para el cálculo de cobertura radioeléctrica y está integrada en <i>GoogleEarthTM</i>; está programada en JAVA, y algunas de la funciones que incorpora son el cálculo de cobertura radioeléctrica individual (de una estación base) de potencia, campo eléctrico y densidad de potencia; así como una base de datos de coberturas y emplazamientos. Una vez calculada la cobertura se visualiza en directamente en <i>GoogleEarth</i> y queda almacenada en una base de datos de coberturas y en un formato que permite ser recuperada por el usuario cada vez que lo necesite.</p> <p>En la planificación de radioenlaces es importante conocer qué puntos tienen visibilidad radioeléctrica (porcentaje de la primera zona de Fresnel libre de obstáculos) desde el transmisor y pueden ser potenciales puntos para ubicar el receptor. Estos puntos con visibilidad radioeléctrica en un área alrededor del transmisor conformarían lo que podríamos denominar un mapa de visibilidad radioeléctrica. Para calcular un mapa de visibilidad radioeléctrica, son, por tanto, necesarios la ubicación geográfica del transmisor, la frecuencia del sistema de radiocomunicaciones y el modelo digital del terreno (MDT), que contenga las alturas del terreno entre el transmisor y el receptor.</p> <p>Con este proyecto se pretende ampliar las funcionalidades de <i>RadioEarth</i> añadiendo una de cálculo de mapas de visibilidad</p>	
Titulación	Ing. Técnico de Telecomunicación, Esp. Telemática.
Departamento	Tecnologías de la Información y de las Comunicaciones
Fecha de Presentación	Junio - 2012

ÍNDICE

CAPÍTULO 1: “INTRODUCCIÓN Y OBJETIVO”	6
1.1 RADIOEARTH.....	7
1.2 PERFILES.....	8
1.3 NECESARIA PLANIFICACIÓN DE RADIOENLACES	9
CAPÍTULO 2: “ZONAS DE FRESNEL”	10
2.1 PARÁMETROS.....	11
2.2 DEFINICIÓN DE ZONAS DE FRESNEL	12
2.3 PORCENTAJE DE VISIBILIDAD EN UN VANO.....	14
2.4 MARGEN DE VISIBILIDAD	17
CAPÍTULO 3: “FUNCIONALIDAD ‘MAPA DE VISIBILIDAD’ EN <i>RADIOEARTH</i> ”	22
3.1 MENÚS.....	23
3.2 PROGRAMA DE CÁLCULO DEL MARGEN DE VISIBILIDAD.....	29
3.3 RESULTADOS EN RADIOEARTH.....	34
CAPÍTULO 4: “CONCLUSIONES Y FUTUROS TRABAJOS”	54
4.1 CONCLUSIONES	55
4.2 FUTURAS LÍNEAS	56
CAPÍTULO 5: “BIBLIOGRAFÍA”	57
5.1 BIBLIOGRAFÍA	58

FIGURAS

Figura 2-1 Zona de Fresnel.....	12
Figura 2-2 Rayos <i>n-ésimos</i> de la zona de Fresnel.	13
Figura 2-3 Obstáculo en la zona de Fresnel.	14
Figura 2-4 Obstáculo no influyente.	15
Figura 2-5 Obstáculo poco influyente.	15
Figura 2-6 Obstáculo muy influyente.	16
Figura 2-7 Obstáculo completo.	16
Figura 2-8 Cota de una celda.	17
Figura 2-9 Estructura de la tabla de celdas de alturas.	18
Figura 2-10 Tabla de alturas.	18
Figura 2-11 Estructura de la tabla de celdas de visibilidad.	20
Figura 2-12 Tabla de visibilidad.....	20
Figura 3-1 <i>RadioEarth</i>	23
Figura 3-2 Menú <i>Calcular</i> de <i>RadioEarth</i>	23
Figura 3-3 Menú <i>Base de Datos</i> de <i>RadioEarth</i>	24
Figura 3-4 Nuevo cálculo de visibilidad.	25
Figura 3-5 Parámetros para el cálculo de visibilidad.	26
Figura 3-6 Posición del emplazamiento.	27
Figura 3-7 Selector de umbral.	28
Figura 3-8 Descripción de un nuevo mapa de visibilidad.	34
Figura 3-9 Parámetros del radioenlace deseado.	35
Figura 3-10 Mapa de visibilidad para la estación base calculada.....	36
Figura 3-11 Datos del primer perfil.	37
Figura 3-12 Primer perfil.	38
Figura 3-13 Alturas del primer perfil.	39
Figura 3-14 Datos del segundo perfil.	40
Figura 3-15 Segundo perfil.	41
Figura 3-16 Alturas del segundo perfil.	42
Figura 3-17 Consulta del mapa de visibilidad.	43
Figura 3-18 Variación del umbral y color del mapa de visibilidad.	44

Figura 3-19 Mapa de visibilidad al 70%	44
Figura 3-20 Mapa de visibilidad al 50%.	45
Figura 3-21 Mapa de visibilidad al 100%.	46
Figura 3-22 Mapa de visibilidad al 0.01%.....	47
Figura 3-23 Mapas de visibilidad combinados.....	48
Figura 3-24 Mapa de visibilidad de la estación 1 al 70% de visibilidad.	49
Figura 3-25 Descripción del mapa de visibilidad de la estación 2.	50
Figura 3-26 Valores para la estación 2 y su mapa de visibilidad.	51
Figura 3-27 Mapa de visibilidad de la estación base 2.....	52
Figura 3-28 Mapas de visibilidad de las estaciones 1 (rojo) y 2 (azul).	53

CAPÍTULO 1: “INTRODUCCIÓN Y OBJETIVO”

1.1 RADIOEARTH

RadioEarth [1] es un programa que opera sobre *GoogleEarth* [2], el cual le brinda los mapas de todo el mundo las distintas alturas del terreno, para el cálculo de coberturas de potencia, campo eléctrico o incluso interferencia de densidad de potencia entre otras aplicaciones.

La principal ventaja que tiene *RadioEarth* es su potencial para añadir nuevas funcionalidades. Además de ser una herramienta totalmente novedosa respecto a que no existe algo parecido en el cálculo de coberturas radioeléctricas o mapas de visibilidad utilizando *GoogleEarth* para la representación de los resultados obtenidos en dichos cálculos.

Una de las funcionalidades de *RadioEarth* permite el cálculo de perfiles de visibilidad electromagnética gracias a las alturas aportadas por *GoogleEarth* del terreno [3].

GoogleEarth se ha convertido en una herramienta muy popular entre los usuarios, avanzados y no avanzados en el mundo de Internet. Manejar *GoogleEarth* está al alcance de cualquiera en el mundo contemporáneo, por eso toma aún más valor la integración de *RadioEarth*, pues es algo que puede llegar al cliente especializado para hacer cálculos de coberturas radioeléctricas y al público en general que tenga curiosidad por esta rama.

1.2 PERFILES

Un perfil de visibilidad electromagnética es la cantidad de potencia eléctrica posible recibida respecto al total que un receptor electromagnético recibe del transmisor. Visto así es un porcentaje del total transmitido que le llega al receptor.

La energía que se transmite puede verse afectada por varios fenómenos como son las condiciones climáticas, reflexión o difracción condicionado por los perfiles terrestres. Este último caso es el que estudiaremos, ya que nos será de utilidad la herramienta *GoogleEarth* con los datos de las alturas para calcular la visibilidad radioeléctrica que tiene una antena en función del terreno que le rodea.

Para obtener el perfil de un enlace, podemos imaginar que cortamos el plano vertical que une ambos puntos del radioenlace y ver las alturas que presenta el terreno. De este modo podemos visualizar de una forma sencilla cómo se ve afectada la señal transmitida por los obstáculos del terreno.

De un modo simple podemos ver que cuando el terreno que atraviesa la recta ficticia que une ambos extremos es más alto que ésta, podemos decir que la visibilidad electromagnética se verá afectada de forma negativa en la señal, llegando incluso a impedir que esta pueda llegar al destino. De otro modo, si es inferior a la recta ficticia, es posible que obstruya parte de la señal, pero nunca podrá impedir que parte de ella llegue al otro extremo.

1.3 NECESARIA PLANIFICACIÓN DE RADIOENLACES

El tema de la visibilidad radioeléctrica es muy importante a la hora de planificar radioenlaces [7], y que con la nueva funcionalidad de cálculo de mapas de visibilidad radioeléctrica desarrollada en este proyecto se le da solución.

Con esta herramienta se pretende que dada una posición en el terreno y unas características de la antena, como puede ser su frecuencia de funcionamiento o las alturas del transmisor y receptor, se pueda saber si es posible establecer una comunicación mediante radioenlaces.

La aplicación está diseñada de manera que no nos veamos afectados por la posición de ambas antenas, si no que solo tenemos que fijar una, lo cual nos da flexibilidad a la hora de calcular la visibilidad electromagnética de los posibles radioenlaces que tengan en cuenta esa antena. Una forma de verlo es por ejemplo intentar realizar una comunicación mediante radioenlaces entre dos puntos concretos, pero el terreno impide que esto sea posible. Con la herramienta que se ha diseñado, es posible calcular los puntos de visibilidad electromagnética en ambos puntos, así podríamos ver dónde coinciden y colocar una estación intermedia que realice la unión mediante radioenlaces.

En el capítulo uno realizamos una introducción y objetivos. En el capítulo 2 se estudia la zona de Fresnel y la relación con el umbral de visibilidad. En el capítulo 3, vemos los mapas de visibilidad en Radioearh. Por último, en el capítulo 4 vemos las conclusiones

CAPÍTULO 2: “ZONAS DE FRESNEL”

2.1 PARÁMETROS

Para el cálculo de las zonas de Fresnel entran en escena una serie de parámetros que iremos describiendo a continuación, pues afectan al cálculo de las distintas zonas de Fresnel.

- Ubicación de la estación base A:

Nos dirá la posición en latitud y longitud de la estación, así como la altura de ese punto del terreno. Esto es necesario, pues podremos conocer cómo es el terreno alrededor de la antena, para posteriormente ver cómo son los perfiles terrestres que la rodean y así poder calcular la visibilidad electromagnética que hay en el radioenlace.
- Frecuencia de transmisión:

Frecuencia a la que se transmitirá por el radioenlace que se establecerá entre ambas estaciones. Es importante su valor, pues veremos como se amplifica o reduce los radios de los anillos que definen las zonas de Fresnel.
- Altura de la estación base A:

Nos define la altura sobre la superficie terrestre que tendrá la antena de la estación base donde hemos presentado su ubicación. Esta altura se añadirá a la del punto terrestre para el cálculo de perfil terrestre.
- Altura de la estación base B:

Nos define la altura de la otra estación, que no está colocada en ningún punto concreto, pues lo que pretendemos es calcular un mapa de visibilidad alrededor de un punto, pero la cual se añadirá a la hora del cálculo del radioenlace, pues se ha de trazar la línea directa que une ambas estaciones, con sus respectivas alturas de las antenas.
- Porcentaje de visibilidad en un vano:

Es un indicador del mínimo porcentaje que le tiene que llegar al receptor para que un radioenlace se considere válido para su uso. Normalmente este valor es del 70%. El mapa pintado indicará aquellos puntos del mapa donde el porcentaje que se obtenga sea igual o superior a dicho valor.

2.2 DEFINICIÓN DE ZONAS DE FRESNEL

Se llama zona de Fresnel al volumen de espacio entre el emisor de una onda - electromagnética, acústica, etc.- y un receptor, de modo que el desfase de las ondas en dicho volumen no supere los 180°. [5]

La limitación del desfase implica que se diferencien varias zonas en la propagación de una onda electromagnética. La zona 0, la cual es la del rayo directo entre transmisor y receptor. La primera zona de Fresnel es aquella que posee el 90% de la energía de la onda propagada, lo cual es la zona de Fresnel que estudiaremos. Otras ondas superiores ocupan más volumen espacial y por consiguiente llevan más información sobre la energía que se transmite, pero no es tan concreta como la primera zona de Fresnel.

En la siguiente figura vemos un corte de cómo se transmite la onda electromagnética y las zonas de Fresnel asociadas.

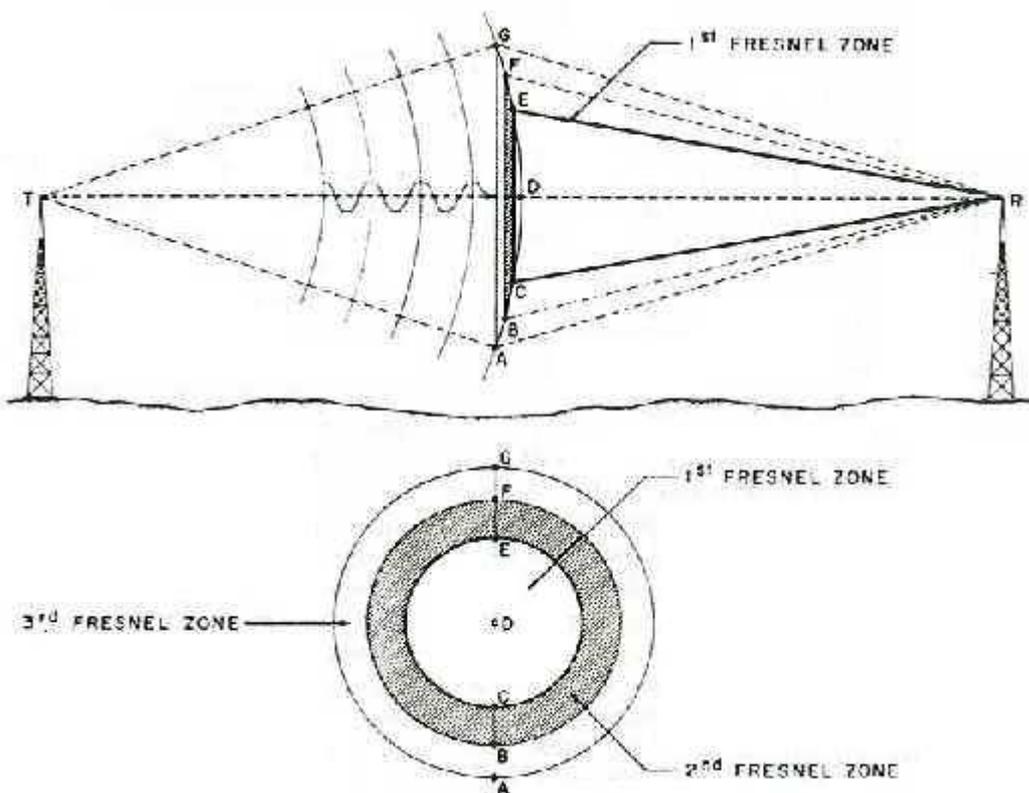


Figura 2-1 Zona de Fresnel. [6]

Como podemos observar en la figura, estos elipsoides son concéntricos al rayo directo que une ambas antenas.

Cada radio o anillo delimita una zona de Fresnel.

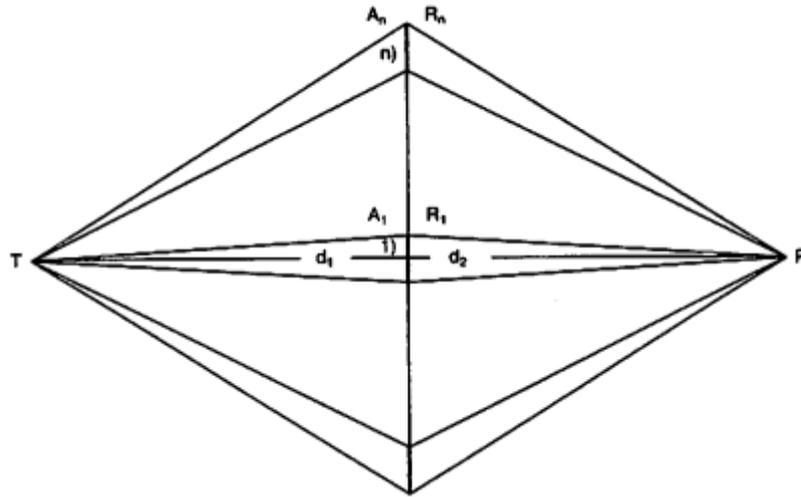


Figura 2-2 Rayos *n*-ésimos de la zona de Fresnel. [8]

La condición de los anillos cumplen la siguiente expresión:

$$\overline{TA_nR} - \overline{TR} = n \frac{\lambda}{2}$$

De donde se deduce:

$$R_n = \sqrt{\frac{n\lambda d_1 d_2}{d}}$$

En unidades prácticas resulta:

$$R_n = 548 \sqrt{\frac{nd_1 d_2}{fd}}$$

Donde:

- R_n : radio de la *n*-ésima zona de Fresnel (m)
- f : frecuencia (MHz)
- d_1 : distancia del transmisor al plano considerado (km)
- d_2 : distancia del plano considerado al receptor (km)
- d : distancia transmisor – receptor (km)

2.3 PORCENTAJE DE VISIBILIDAD EN UN VANO.

El porcentaje de visibilidad en un vano es la potencia radioeléctrica que llega al receptor de una zona de Fresnel respecto del total que se ha transmitido por dicha zona.

Como el 90% de la energía se ha transmitido por la primera zona de Fresnel, ésta será la que nos interesa para el cálculo de la visibilidad.

Los perfiles del terreno pueden causar interferencia con la primera zona de Fresnel, como se muestra en la Figura 2-3, reduciendo la visibilidad que le llega a la estación receptora.

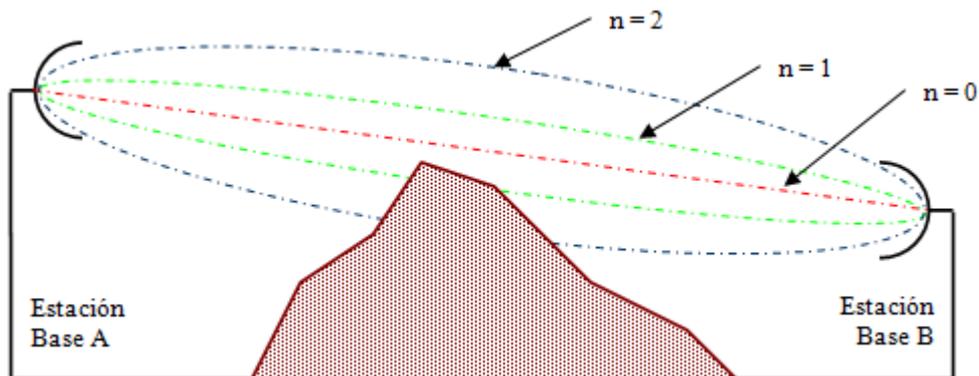


Figura 2-3 Obstáculo en la zona de Fresnel.

El porcentaje de visibilidad en el vano será inferior al 100% siempre que una parte del perfil se introduzca dentro de la primera zona de Fresnel. De este modo hay varios casos posibles de estudio:

- a. El porcentaje de visibilidad es del 100%. Ningún punto del perfil interfiere con la primera zona de Fresnel. La señal llega a la estación receptora sin interferencias del perfil.

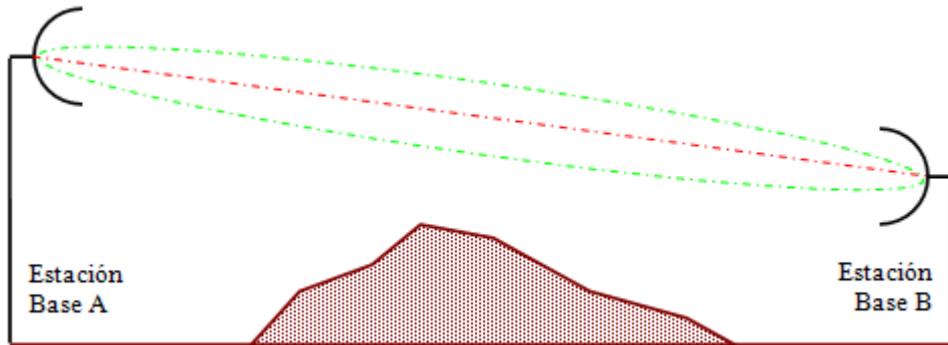


Figura 2-4 Obstáculo no influyente.

- b. El porcentaje de visibilidad está comprendido entre 100% y 50%. Esto nos indica que el perfil terrestre está interfiriendo sobre la mayor parte de energía, sin llegar la cota de este a superar el nivel de rayo directo que une la estación base A con la estación base B.

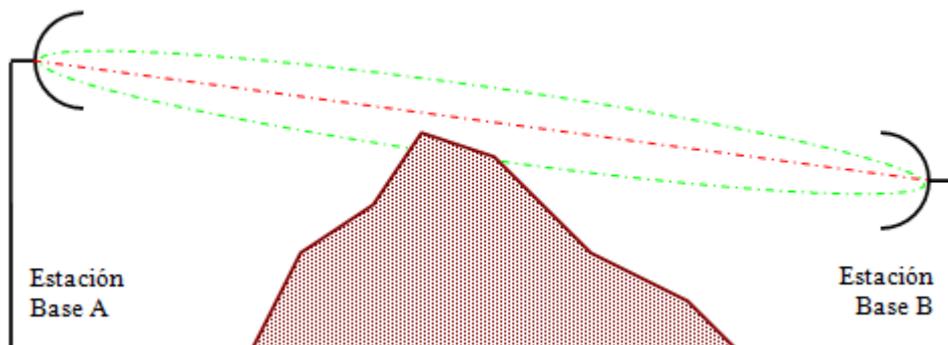


Figura 2-5 Obstáculo poco influyente.

- c. El porcentaje de visibilidad está comprendido entre el 50% y el 0%, esto quiere decirnos que el perfil supera el rayo directo entre ambas estaciones sin llegar a impedir que la antena receptora le llegue algo de la potencia transmitida, ya que no llega a obstaculizar por completo la primera zona de Fresnel.

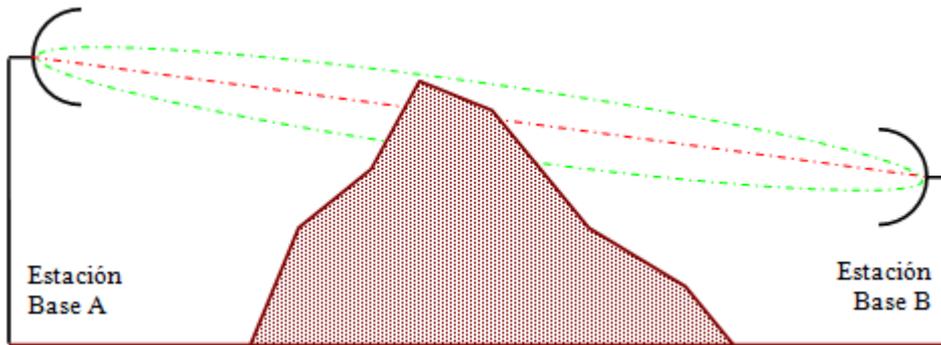


Figura 2-6 Obstáculo muy influyente.

- d. El porcentaje de visibilidad es del 0%, esto nos indica que el perfil está obstaculizando por completo la primera zona de Fresnel, impidiendo que le llegue señal alguna a la estación receptora.

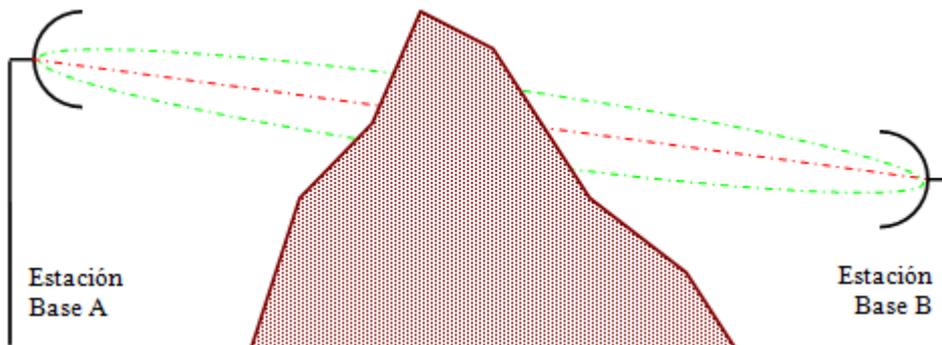


Figura 2-7 Obstáculo completo.

2.4 MARGEN DE VISIBILIDAD

El margen de visibilidad es aquel parámetro que queremos establecer como un mínimo de visibilidad permitido para un radioenlace, expresando así la condición que necesitamos para que se pueda establecer la comunicación.

De este modo, se establecen los cálculos que establecen el porcentaje de visibilidad de cada celda.

Primeramente se obtendrá el valor de altura de cada punto del terreno, que será una estimación de la cota en cualquier punto de la celda en función de la altura de los vértices y de los puntos notables y las distancias a esos puntos, de tal forma:

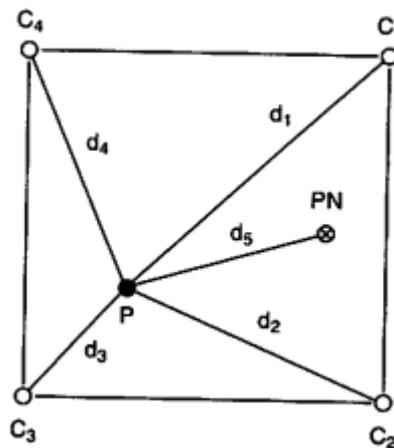


Figura 2-8 Cota de una celda.

Para ello se utiliza la siguiente expresión:

$$c_p = \frac{\sum_{i=1}^N c_i / d_i^2}{\sum_{i=1}^N 1/d_i^2}$$

donde c_i son las cotas geográficas [4] y d_i las distancias entre los puntos a P.

Estos valores nos los proporciona ya la herramienta *GoogleEarth* al realizar una captura del terreno.

Como podemos ver en siguiente figura, en cada celda se coloca el valor de altura obtenido, mientras que en el centro estará la estación base colocada.

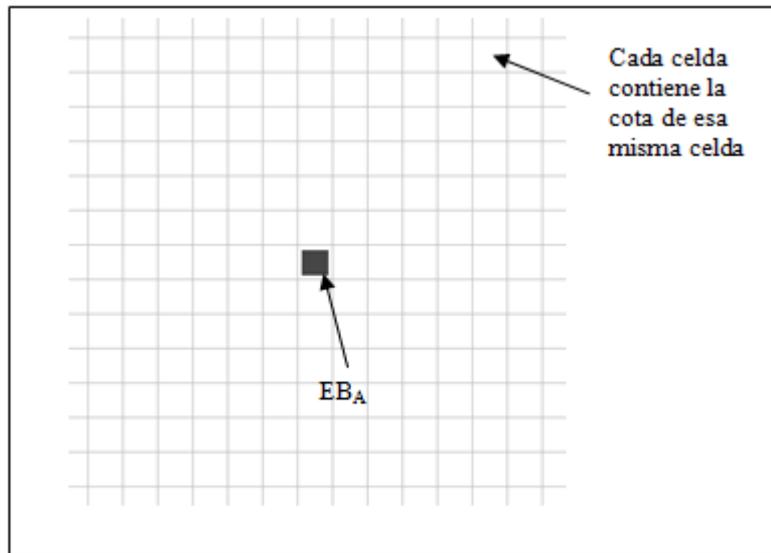


Figura 2-9 Estructura de la tabla de celdas de alturas.

Podemos ver un ejemplo de los valores obtenidos:

ncols	21
nrows	21
xllcorner	614803.0
yllcorner	4226216.0
cellsize	100
NODATA_value	-9999
420	431 440 440 440 428 420 420 420 420 415 410 405 400 400 395 391 386 381 380 380
420	428 434 434 433 425 420 420 420 418 412 407 403 400 400 399 394 389 385 382 380
420	422 427 426 423 420 420 420 418 414 410 403 400 400 400 397 392 391 387 383
416	420 420 420 420 420 420 419 415 411 407 401 400 400 400 400 398 395 391 386
412	417 420 420 420 420 420 418 412 408 403 400 400 400 400 400 397 392 387
409	414 419 420 420 420 420 420 414 408 402 400 400 400 400 400 395 391 388
408	412 417 420 420 420 420 420 415 408 402 400 400 400 400 400 395 391 386
410	414 417 418 419 420 420 420 414 407 401 400 400 400 400 400 396 392 386
417	416 416 417 418 420 420 418 413 407 401 400 400 400 400 400 397 389 382
419	413 410 413 416 419 416 415 411 406 400 400 400 400 400 397 394 387 380
415	411 405 407 410 413 411 409 408 404 400 400 400 400 400 398 393 390 385 380
411	407 403 401 404 406 406 404 403 401 400 400 399 398 396 394 394 390 385 382 380
407	403 400 400 400 401 400 400 400 400 398 392 391 390 388 385 386 385 382 380 380
402	400 400 400 400 400 400 400 400 400 397 390 384 381 381 380 380 380 380 380 380
400	400 400 400 400 399 398 397 400 400 399 394 389 383 380 380 380 380 380 380 380
400	399 398 396 395 394 394 396 400 397 392 386 381 380 380 380 380 375 373 375 369
398	396 394 393 391 390 389 393 396 395 390 386 381 380 380 380 375 369 365 364 361
397	394 391 389 387 385 384 388 389 388 386 382 380 380 380 376 370 364 360 360 360
396	392 389 386 385 382 381 381 382 382 381 380 380 380 380 375 371 367 361 360 360
395	391 388 384 381 380 380 380 380 380 380 380 380 380 380 378 371 364 360 360 360
393	390 387 383 380 380 380 380 380 380 380 380 380 380 377 374 373 366 360 360 360

Figura 2-10 Tabla de alturas.

El cual posee una cabecera con los siguiente parámetros:

- **ncols**
Indicará el número de columnas que tendrá la matriz de información.
- **nrows**
Indicará el número de filas que tendrá la matriz de información.
- **xllcorner**
Representa la coordenada de longitud del punto más al suroeste del conjunto de puntos considerado.
- **yllcorner**
Representa la coordenada de latitud del punto más al suroeste del conjunto de puntos considerado.
- **cellsize**
Indica la resolución de cada punto, es decir si $cellsize = 30$, los puntos equidistarán 30m entre sí. Por tanto la cifra en cada punto representará el valor medio de la magnitud deseada (potencia, campo eléctrico o densidad de potencia, porcentaje de visibilidad en nuestro caso) en un cuadrado de $(cellsize * cellsize) m^2$.
- **NODATA_value**
Se utiliza para los puntos de los que no se dispone información, o no existe cobertura radioeléctrica en ellos.

Una vez obtenidos los valores, su representación es igual, utilizando cada celda para colocar el porcentaje de visibilidad obtenido.

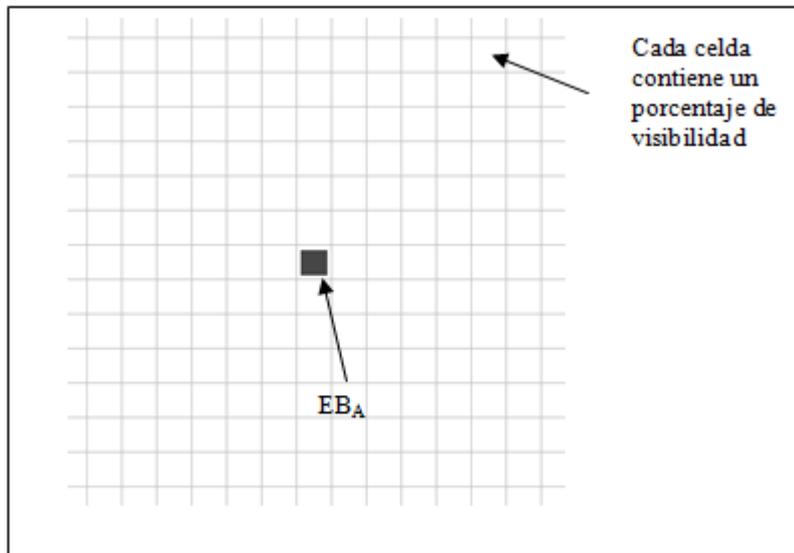


Figura 2-11 Estructura de la tabla de celdas de visibilidad.

En un ejemplo, podemos ver la visibilidad obtenida después de realizar los cálculos.

ncols	21																							
nrows	21																							
xllcorner	614803.000000																							
yllcorner	4226216.000000																							
cellsize	100.000000																							
NODATA_value	-9999																							
28	47	67	83	89	77	66	82	100	100	100	100	100	100	100	100	100	86	67	47	26	30	36		
30	42	56	62	76	63	71	90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	83	56	42	36	30		
32	35	48	52	58	56	70	79	95	100	100	100	100	100	100	100	100	100	95	73	67	51	34		
33	35	39	38	43	49	65	87	97	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	87	67	47		
20	37	49	43	43	58	80	85	71	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	95	73	53		
13	25	39	49	58	59	74	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	89	68	57	
13	24	35	46	72	74	75	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	90	69	51	
23	37	41	51	55	90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	95	75	51	
47	49	49	64	64	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	66	40
80	66	60	52	71	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	88	58	38
74	68	50	64	89	100	100	100	100	100	-9999	100	100	100	100	100	100	100	100	100	86	73	59	49	
68	62	52	47	62	84	92	98	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	94	78	65	61	61		
72	68	63	75	79	94	100	100	100	100	100	100	100	100	100	91	78	68	84	85	67	66	72		
76	72	86	88	90	92	100	100	100	100	100	100	100	95	62	76	64	73	71	77	78	82			
84	85	86	87	97	95	100	100	100	100	100	100	100	100	75	81	87	78	82	81	84				
84	83	94	93	88	88	93	100	100	100	100	85	100	100	100	88	86	88	83	76	70				
93	91	85	85	76	69	65	86	100	100	100	92	100	100	100	100	82	78	77	80	45				
92	87	79	81	65	53	62	59	65	77	96	84	100	100	100	100	95	69	61	74	78				
90	83	75	65	63	61	46	38	42	60	87	84	98	100	100	100	100	89	76	78	78				
89	87	75	63	57	60	43	43	60	60	88	88	100	100	100	100	100	87	83	75	81				
90	79	72	64	64	54	49	49	66	66	91	91	100	100	100	100	59	70	82	89	78				

Figura 2-12 Tabla de visibilidad.

En el ejemplo, vemos que posee la misma cabecera que poseía el ejemplo de las alturas obtenidas. Cabe destacar que donde está colocada la estación base se presenta el valor NODATA_value, el cual nos indica que no se ha calculado valor para ese punto. Otro detalle es que los resultados obtenidos son enteros comprendidos entre 0 y 100, lo cual hace relevancia al tanto por ciento de visibilidad obtenido.

Con estos resultados obtenidos, según el margen de visibilidad que nos interese, nos quedaremos con los valores iguales o superiores, y como sabremos donde se encuentran, por la posición en las celdas, somos capaces de pintar en *GoogleEarth* una capa que nos indique aquellos puntos posibles donde se cumplen los requisitos exigidos.

CAPÍTULO 3: “FUNCIONALIDAD
‘MAPA DE VISIBILIDAD’ EN
RADIOEARTH”

3.1 MENÚS

El menú principal de *RadioEarth* posee varias pestañas donde podremos realizar nuevos cálculos, consultar algunos ya realizados además de otras opciones, como se muestra en la figura siguiente.

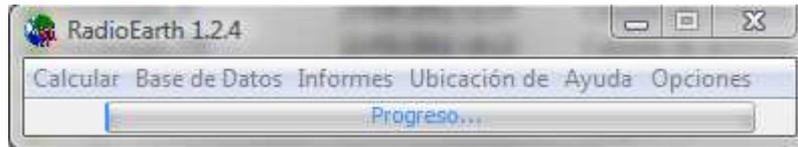


Figura 3-1 *RadioEarth*.

Dentro del menú *Calcular*, nos aparecen las distintas funcionalidades que permite *RadioEarth*. En él aparecerá, entre otros, el cálculo del mapa de visibilidad, del que se podrá crear uno nuevo.



Figura 3-2 Menú *Calcular* de *RadioEarth*.

En el menú *Base de Datos*, podremos realizar consultas sobre los cálculos realizados antes o eliminar estas.

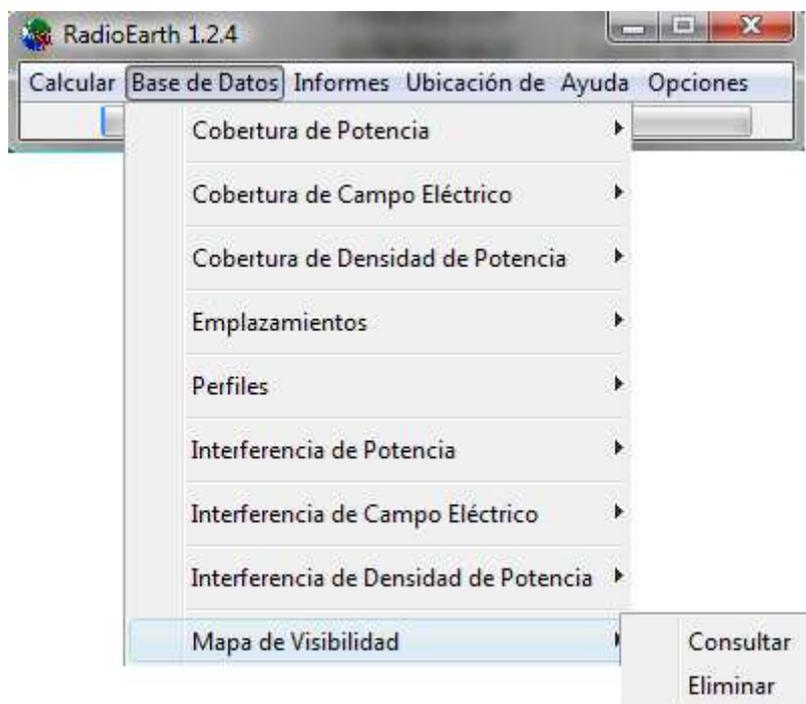


Figura 3-3 Menú *Base de Datos* de *RadioEarth*.

Cuando realizamos un nuevo cálculo, nos aparece un menú en el cual indicaremos el nombre y opcionalmente podremos escribir una descripción del mapa de visibilidad. Además nos aparecerán, si los hay, los nombres de otros mapas calculados previamente.

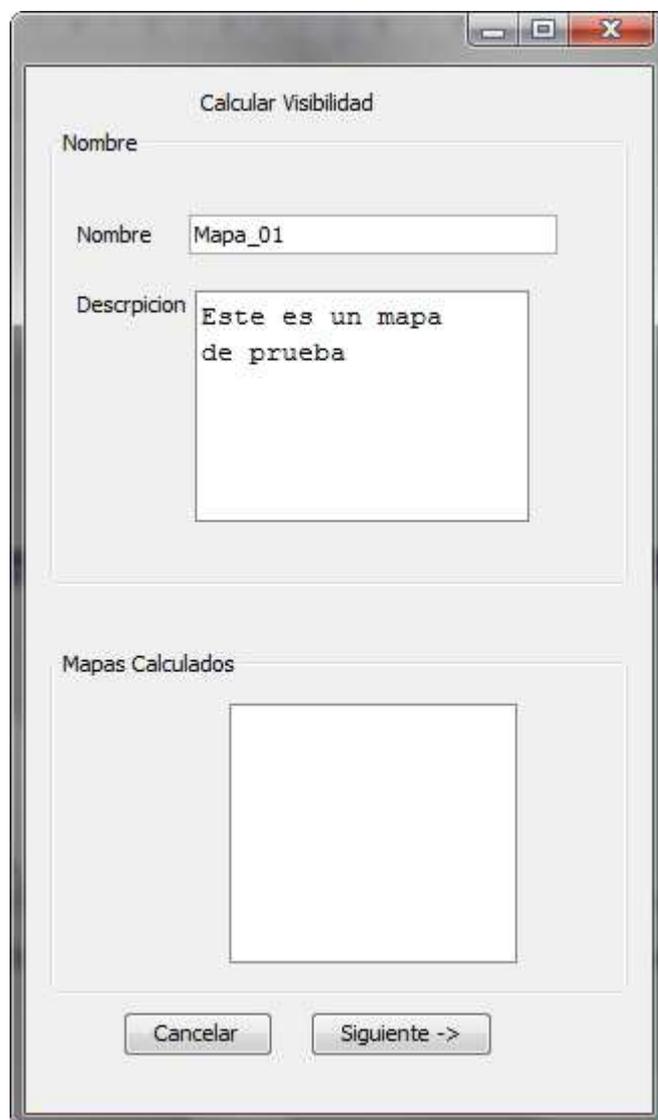


Figura 3-4 Nuevo cálculo de visibilidad.

Una vez realizado éste paso, introduciremos los parámetros para el cálculo del mapa de visibilidad.

Mapas Calculados

Estación Base

Abrir Latitud (Grados Decimales): 37.5 Ir a

Longitud (Grados Decimales): -1.5 Mapa

Altura sobre el suelo (m): 10

Altura sobre el suelo (m):

Altura sobre el suelo (m): 10

Estación móvil

Frecuencia: 900 MHz

Factor K 1.33

Área de cálculo:

Radio (m): 5000

Umbral

Umbral % visibilidad: 70

Cancelar Aceptar

Figura 3-5 Parámetros para el cálculo de visibilidad.

Podemos ver en la figura anterior como definimos la posición de la estación base, en latitud y longitud, y la altura sobre el suelo de la antena receptora y transmisora. Además podemos indicar la frecuencia del radioenlace así como el radio del área a calcular el mapa de visibilidad. Por último estableceremos el umbral de visibilidad, el cual es el porcentaje mínimo permitido de visibilidad para que se pueda realizar el radioenlace.

Si no conocemos la posición geográfica del emplazamiento donde queremos colocar el radioenlace, para así ver el mapa de visibilidad generado, se dispone de la opción *Mapa*, el cual, a través de *GoogleEarth* podremos encuadrar el lugar exacto donde colocar el radioenlace y así obtener el mapa de visibilidad asociado.



Figura 3-6 Posición del emplazamiento.

Cuando se realiza una consulta, no se está predeterminado al margen de visibilidad anteriormente calculado, sino que se podrá fijar un nuevo margen de visibilidad a calcular, el cual solo tendrá que seleccionar desde el fichero de visibilidades, aquellas que sean igual o superiores a la indicada. Por otro lado, para ofrecer al usuario la posibilidad de colocar varios radioenlaces, es posible cambiar el color de los puntos válidos que representa *GoogleEarth*, de tal modo que podremos ver mejor cuales son las zonas comunes para un grupo de radioenlaces aislados y así interconectarlos.

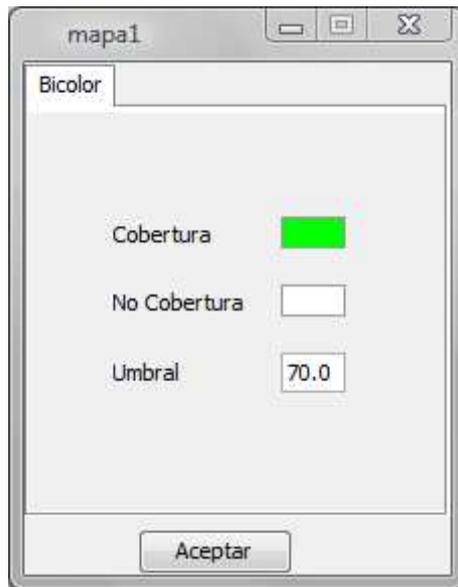


Figura 3-7 Selector de umbral.

3.2 PROGRAMA DE CÁLCULO DEL MARGEN DE VISIBILIDAD

El cálculo de visibilidad se ha realizado en C [9], mediante el programa “Borland C++” [10].

El programa se compone de dos ficheros con extensión ‘.cpp’:

– **principal_visibilidad.cpp:**

Es la encargada de leer los datos del fichero MDT, tanto la cabecera como los datos de la misma.

```
for (i=0;i<nrows1;i++)
  for (j=0;j<ncols1;j++){
    ind=(long) ncols1*i+j;
    lee_float(grid,&temp);
    if(fabs(temp+9999)<1)
      temp=0;
    if (ind==indtx)
      mapa[ind]=temp+ht;
    else {
      mapa[ind]=temp;
    }
    if ((i>fa-1) && (i<fa+nfil) && (j>ci-1) && (j<ci+ncols)){
      campo[ind]=-9999;
    }
  }
fclose(grid);
```

Con los datos va hallando los perfiles del terreno, tanto de alturas como de distancias entre los puntos.

```
perfil=(float*)calloc(e1,sizeof(float))
vector_distancias=(float*)calloc(e1,sizeof(float));
ind_calc=(int*)calloc(e1,sizeof(int));
if (!perfil){
    printf("No queda memoria disponible para perfil\n");
    exit(1);
}
for(j=0;j<e1;j++){
    ind=(long) ncols1*y[j]+x[j];
    perfil[j]=mapa[ind];
    ind_calc[j]=ind;
}
perfil[e1-1]=perfil[e1-1]-hr;

paso2=(e==0) ? 0 : R/floor(e);
for (i = 0; i < (e1-1); i++) {
    vector_distancias[i]=i*paso2;
}
vector_distancias[e1-1]=R;
if(ind!=indtx)
    mapa[ind]=mapa[ind]-hr;
```

Posteriormente, con los perfiles y las distancias entre puntos obtenidas, realiza el cálculo de visibilidad en cada celda del terreno.

```
if (e1==1){
    visibilidad=-9999;
    campo[ind]=visibilidad;
}
else{
    ep=e1-1;
    for(i=(e1-1);i>0;i--){
        if (campo[ind_calc[ep]]==(-9999)) {
            visibilidad=CalculaVisibilidad(perfil,celda,frecuencia,k,vector_distancias,ep,hr,R,Rtotal,e1,ft,ct,y,x,figura,radio);
            campo[ind_calc[ep]]=visibilidad;
        }
        ep=ep-1;
    }
}
```

Finalmente, cuando todos los valores del mapa de visibilidad han sido calculados, crea el fichero guardando en él los valores obtenidos.

– calculavisibilidad.cpp

Este programa se encarga de calcular la visibilidad mínima que habrá en un perfil concreto, dado por el programa ‘principal_visibilidad.cpp’, como podemos ver en el código.

```
visibilidad=CalculaVisibilidad(perfil,celda,frecuencia,k,vector_distancias,ep,hr,R,Rtotal,e1,ft,ct,y,x,figura,radio);
```

A este programa se le facilita entre otras cosas el perfil concreto, las distancias a cada punto del perfil, la frecuencia del radioenlace, la altura del receptor y el radio de la zona de cálculo.

La función se encargará de generar la recta ficticia que une a la estación transmisora y a la receptora, para visualizar los puntos de corte con el perfil dado. Una vez realizado estos pasos previos, comprobaremos, celda a celda la visibilidad que hay hacia cada una, quedándonos con la menor de todas ellas. Cabe destacar que la visibilidad obtenida es la que obtendremos en recepción, ya que hemos ido viendo como el perfil ha afectado a la línea de visibilidad directa y la zona de Fresnel, calculando con ello el porcentaje total de visibilidad.

```
vision_minima = (float)100;
for(r=1; r<longitud-1; r++){
    d1=dis[r]; // Distancia del Tx al punto a calcular
    d2=(rx_X-dis[r]); // Distancia del punto a calcular al Rx
    radio=sqrt((300/freq)*((d1*d2)/(d1+d2))); // Calculamos radio de la zona de Fresnel
    if(per[r]>=(recta1[r]-radio)){ //La visibilidad no es del 100%
        if(per[r]<(recta1[r]+radio)) // Es un porcentaje entre 0-100
            vision=(float)(1-((per[r]-(recta1[r]-radio))/(2*radio))); // Calculamos el porcentaje de visibilidad
        else
            vision = (float)0; // Visibilidad nula
    }
    else
        vision = (float)1; // La visibilidad es del 100%
    vision = vision*100;
    if(vision<vision_minima)
        vision_minima = vision;
}
free(recta1);
return (int)(vision_minima); // Devolvemos el un valor entre 0 - 100 (porcentaje)
```

Con estos dos ficheros, es posible realizar un ejecutable, el cual pasándole unos parámetros sea capaz de generar el mapa de visibilidad como hemos visto, con su cabecera y sus valores. Los parámetros a introducir son:

1. Nombre del ejecutable.
2. Fichero ASCII donde se realizarán cálculos.
3. Fichero ASCII del MDT rural en la zona de cálculo con las alturas.
4. Fichero de salida con los resultados del mapa de visibilidad.
5. Fichero ASCII del MDT rural en la zona de cálculo con las alturas.
6. Frecuencia.
7. Altura de la estación base.
8. Altura de la estación móvil.
9. Número de filas de la cabecera del MDT de alturas.
10. Número de columnas de la cabecera del MDT de alturas.
11. Fila de la estación base.
12. Columna de la estación base.
13. Resolución.
14. Obstáculo.
15. Factor k.
16. Acimut.
17. Elevación.
18. iso.
19. Figura.
20. Radio del círculo de cobertura.
21. Coordenada X de la esquina inferior izquierda del MDT.
22. Coordenada Y de la esquina inferior izquierda del MDT.
23. Fichero ASCII donde se comprueban los datos de cálculos.

Con todos estos valores, el ejecutable se encargará de realizar el paso de un fichero de alturas del MDT a uno en el que nos indicará la visibilidad de cada celda.

3.3 RESULTADOS EN RADIOEARTH

Para comprobar los resultados obtenidos, realizaremos el cálculo de un mapa de visibilidad en una zona convenientemente adaptada para dicho caso.

Se realiza un nuevo radioenlace

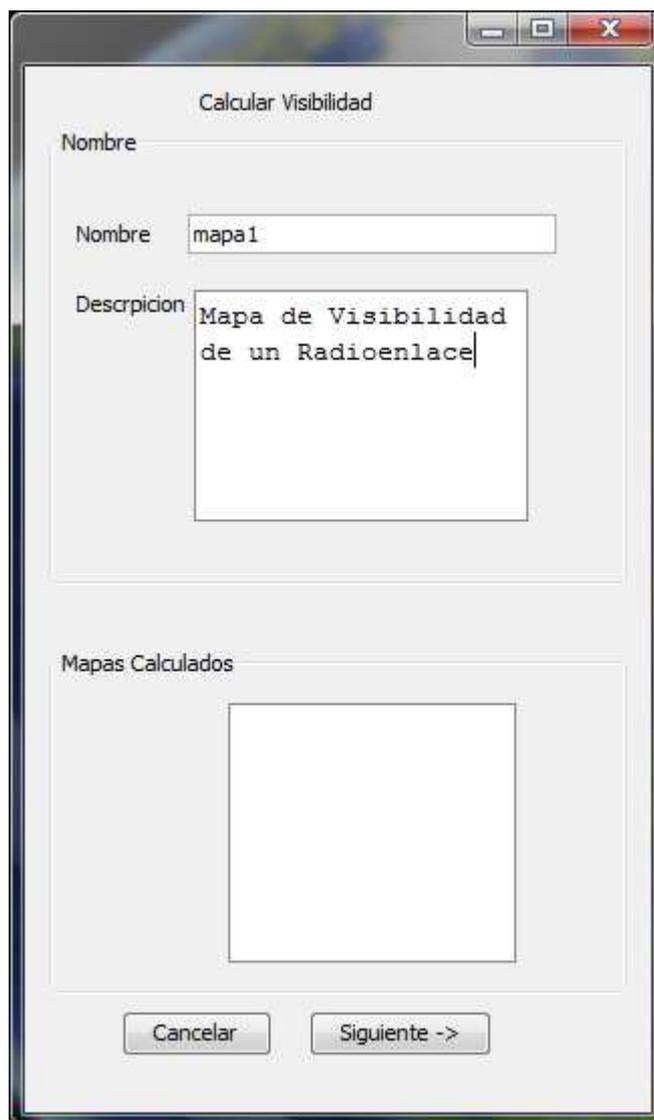


Figura 3-8 Descripción de un nuevo mapa de visibilidad.

Posteriormente se introducen los parámetros para el cálculo del radioenlace, especificando una zona concreta para poder ver que los resultados son coherentes con lo esperado.

Colocamos la estación base en la base de una montaña, para ver que la visibilidad es nula tras ella, pero que hay visibilidad en el otro lado, donde se sitúa la antena. La estación base tendrá una altura de 10 metros, igual que la estación receptora, y transmitirán a 900MHz. El cálculo de visibilidad se hará para una zona de 5Km alrededor de la estación base.

Mapas Calculados

Estación Base

Abrir Latitud (Grados Decimales): 37,5 Ir a

Longitud (Grados Decimales): -1,5 Mapa

Altura sobre el suelo (m): 10

Altura sobre el suelo (m):

Altura sobre el suelo (m): 10

Estación móvil

Frecuencia: 900 MHz

Factor K: 1,33

Área de cálculo:

Radio (m): 5000

Umbral

Umbral % visibilidad: 70

Cancelar Aceptar

Figura 3-9 Parámetros del radioenlace deseado.

Por defecto, dejamos el umbral de visibilidad al 70%, el cual es adecuado para una transmisión correcta por un radioenlace.

Los resultados obtenidos son los que se muestran a continuación.

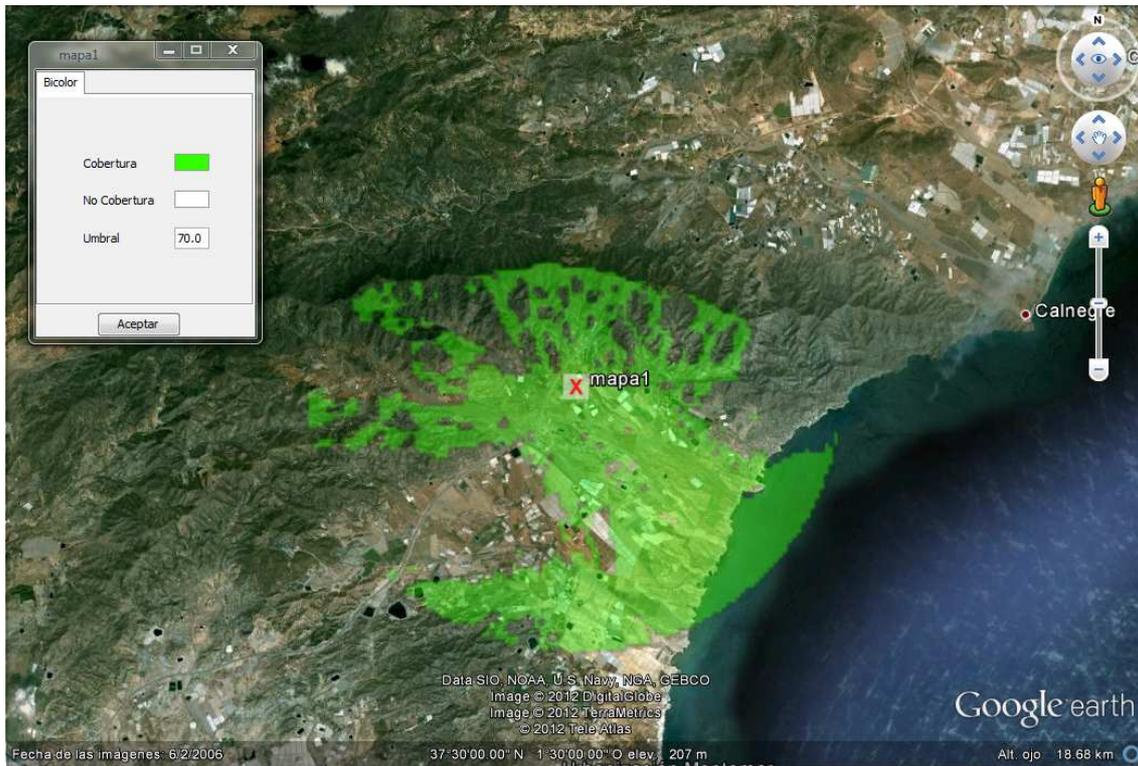


Figura 3-10 Mapa de visibilidad para la estación base calculada.

Podemos ver como la visibilidad es nula para el terreno tras la montaña, ya que es imposible que la señal pase a través de ella, pero al otro lado, la visibilidad es superior al 70% en muchos puntos del terreno.

Para comprobar que los resultados son correctos, optamos por utilizar otra herramienta que nos ofrece *RadioEarth*, la cual nos calcula un perfil concreto entre dos puntos y la zona de Fresnel que habría en la comunicación. De este modo, realizamos dos perfiles hacia zonas parecidas, una en la cual tengamos visibilidad en un borde de la montaña y otra en la que no lo tengamos, también en el borde de la montaña, y así comparar los resultados obtenidos por ambos perfiles con los de la nueva herramienta incorporada a *RadioEarth*.

Comenzamos realizando un perfil a un punto que supongamos que tenemos visibilidad en el borde de la montaña, como por ejemplo el punto (37.506804°, -1.465613°), indicando en él la frecuencia utilizada en el radioenlace para así obtener la correcta zona de Fresnel y poder comprobar que la visibilidad hallada es coherente.

The image shows a software window titled "Calcular Perfil". It has several sections for data entry:

- Nombre:** A text box containing "perfil_01".
- Origen (Origin):**
 - Latitud: 37.500000 °
 - Longitud: -1.500000 °
 - Altura: 10 m
- Destino (Destination):**
 - Latitud: 37.506804 °
 - Longitud: -1.465613 °
 - Altura: 10 m
- Parámetros Radioelétricos (Radioelectric Parameters):**
 - Frecuencia: 900 MHz (with a dropdown arrow)
 - Factor K: 1.33

At the bottom center, there is a "Calcular" button.

Figura 3-11 Datos del primer perfil.

Como podemos observar en la figura anterior, hemos colocado el transmisor en el mismo punto que la estación base, mientras que el receptor o destino está situado en un punto que coincide con una zona marcada por el calculo de visibilidad anteriormente realizado, por lo que el resultado tendrá que darnos un perfil despejado.

En la siguiente figura vemos los dos puntos seleccionados y como son la zona de Fresnel. El rayo rojo representa el rayo directo, mientras que las líneas azules definen el primer elipsoide de Fresnel.

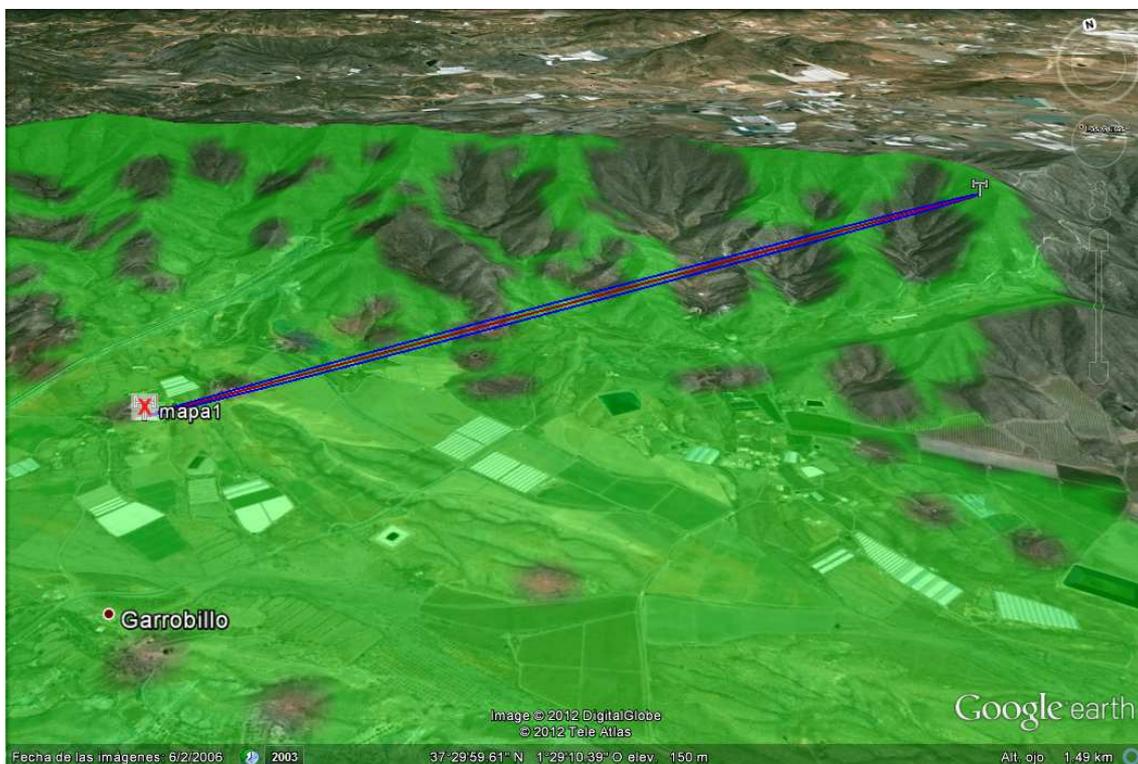


Figura 3-12 Primer perfil.

Una forma más detallada de ver el resultado, es viendo el perfil de alturas que nos ofrece esta función, como vemos en la siguiente figura.

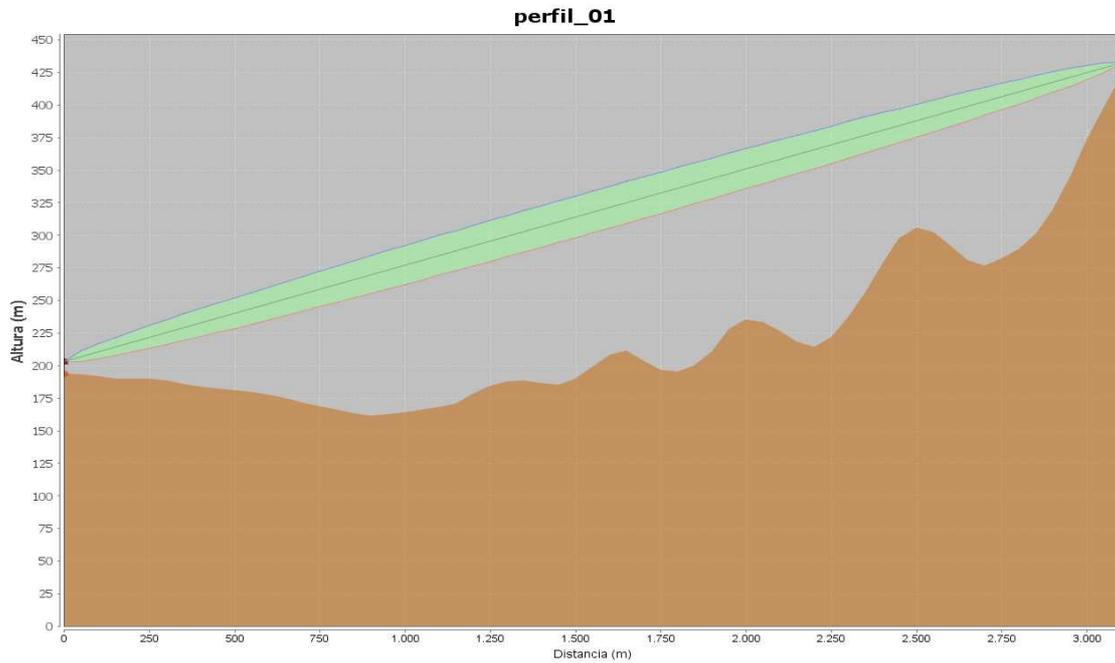


Figura 3-13 Alturas del primer perfil.

Como podemos observar, se muestra el rayo directo y la zona de Fresnel entre ambos puntos elegidos. La figura nos indica que la visibilidad es del 100%, coincidiendo con el resultado obtenido con el cálculo del margen visible, que nos indicaba que la visibilidad era igual o superior al 70%.

Ahora realizaremos otro cálculo de perfil, para comprobar en este caso, que no hay visibilidad en un punto que a priori si podría tenerla, como es también en la cima de la montaña.

De este modo nos situamos en el punto indicado en la figura, el (37.518109°, - 1.526190°). Una vez más indicamos las alturas de las estaciones, así como la frecuencia de transmisión.

The screenshot shows a software window titled "Calcular Perfil" with the following fields and values:

- Nombre:** perfil_02
- Origen:**
 - Latitud: 37.500000 °
 - Longitud: -1.500000 °
 - Altura: 10 m
- Destino:**
 - Latitud: 37.518109 °
 - Longitud: -1.526190 °
 - Altura: 10 m
- Parámetros Radioelétricos:**
 - Frecuencia: 900 MHz
 - Factor K: 1.33

A "Calcular" button is located at the bottom of the window.

Figura 3-14 Datos del segundo perfil.

En la siguiente figura vemos como se presenta el perfil definido previamente entre ambos puntos.

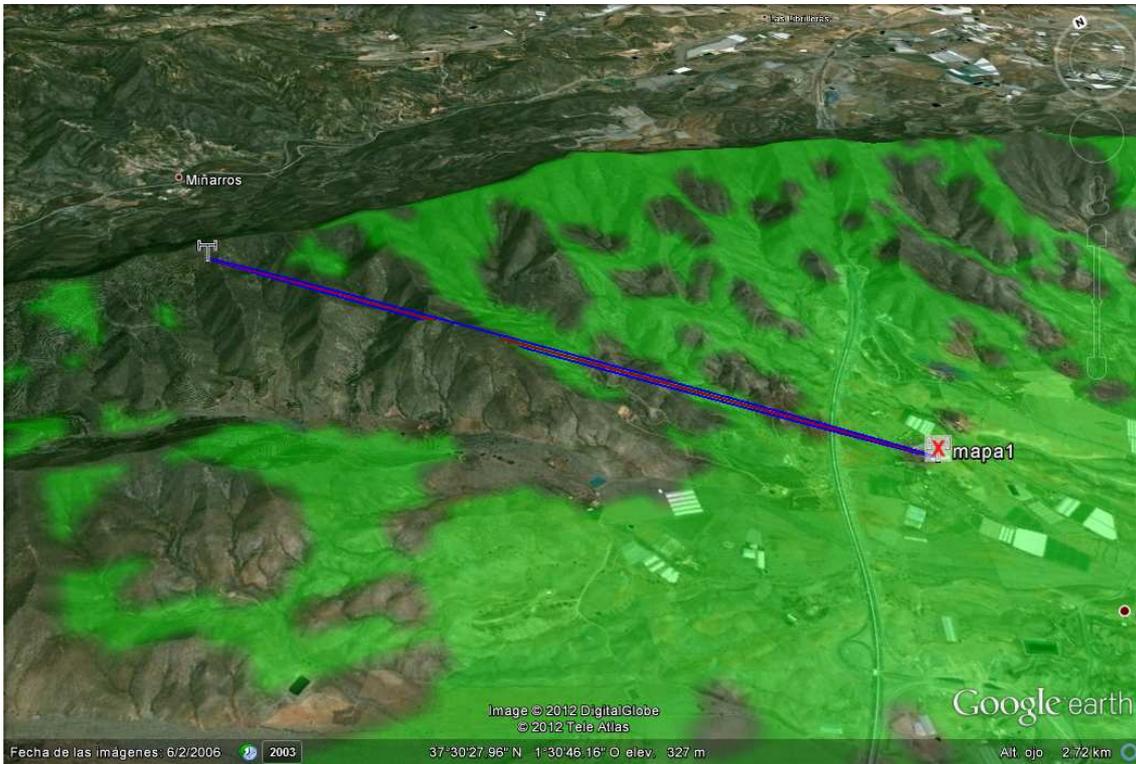


Figura 3-15 Segundo perfil.

En este caso, se puede observar como el rayo directo, en rojo, es cortado por una arista de la montaña, impidiendo así que la visibilidad sea mayor del 50%, por lo que se cumple el cálculo que queríamos en dicho punto, que no fuera superior o igual al 70% de la visibilidad total.

Para una mejor visión del problema planteado, podemos ver el diagrama de alturas generado.

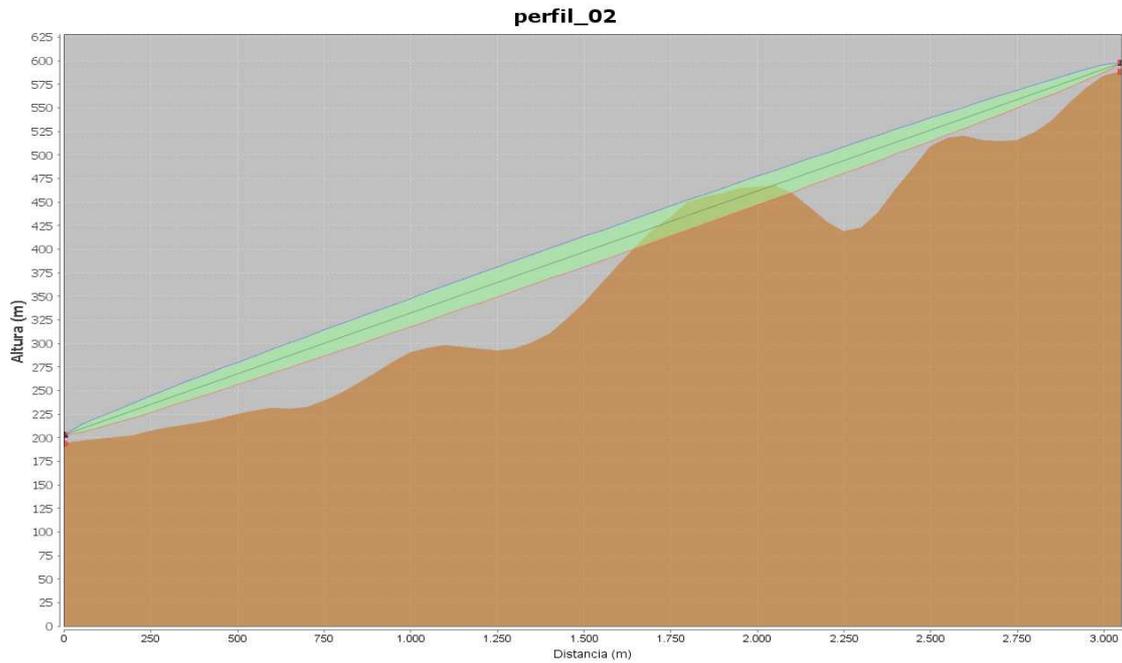


Figura 3-16 Alturas del segundo perfil.

En él, se ve como el rayo directo corta la superficie del terreno, y solo la línea superior del primer elipsoide de Fresnel es capaz de llegar al receptor sin obstáculos.

Aquí es más fácil visualizar como el porcentaje de visibilidad que le llega a la estación receptora es inferior al 50%, aunque no llega a ser nulo, pero en cualquier caso es inferior al margen mínimo exigido del 70%.

Continuando con las herramientas que ofrece nuestra nueva aplicación, vamos a comprobar como el margen de visibilidad mínimo exigido. Para ello realizamos una consulta de un mapa de visibilidad ya calculado, dentro del menú de “Base de Datos”. Seleccionamos el mapa al que queremos realizar la consulta.

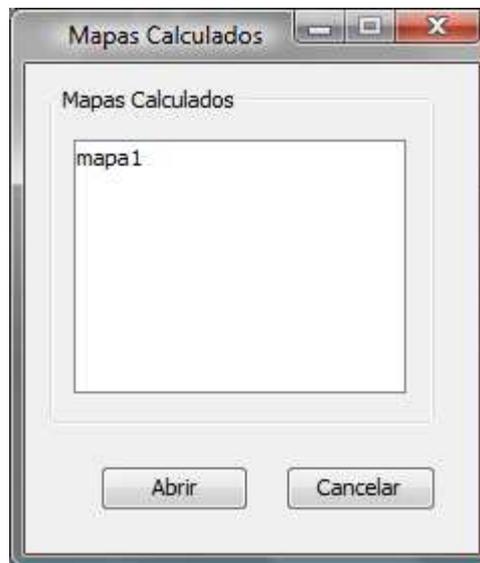


Figura 3-17 Consulta del mapa de visibilidad.

Una vez elegido el mapa, se puede volver a visualizar dentro de *GoogleEarth* los resultados obtenidos por defecto o los que le hayamos indicado a la hora de realizar el cálculo, en este caso al 70% de la visibilidad total.

Nos aparecerá un menú donde podremos cambiar el umbral mínimo exigido al radioenlace deseado, de esta forma nos aparece el siguiente cuadro.

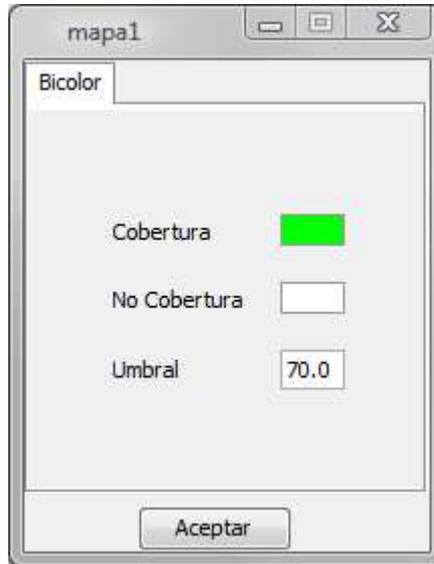


Figura 3-18 Variación del umbral y color del mapa de visibilidad.

Con ello, se vuelve a visualizar mapa con una visibilidad al 70%, como se muestra en la figura:

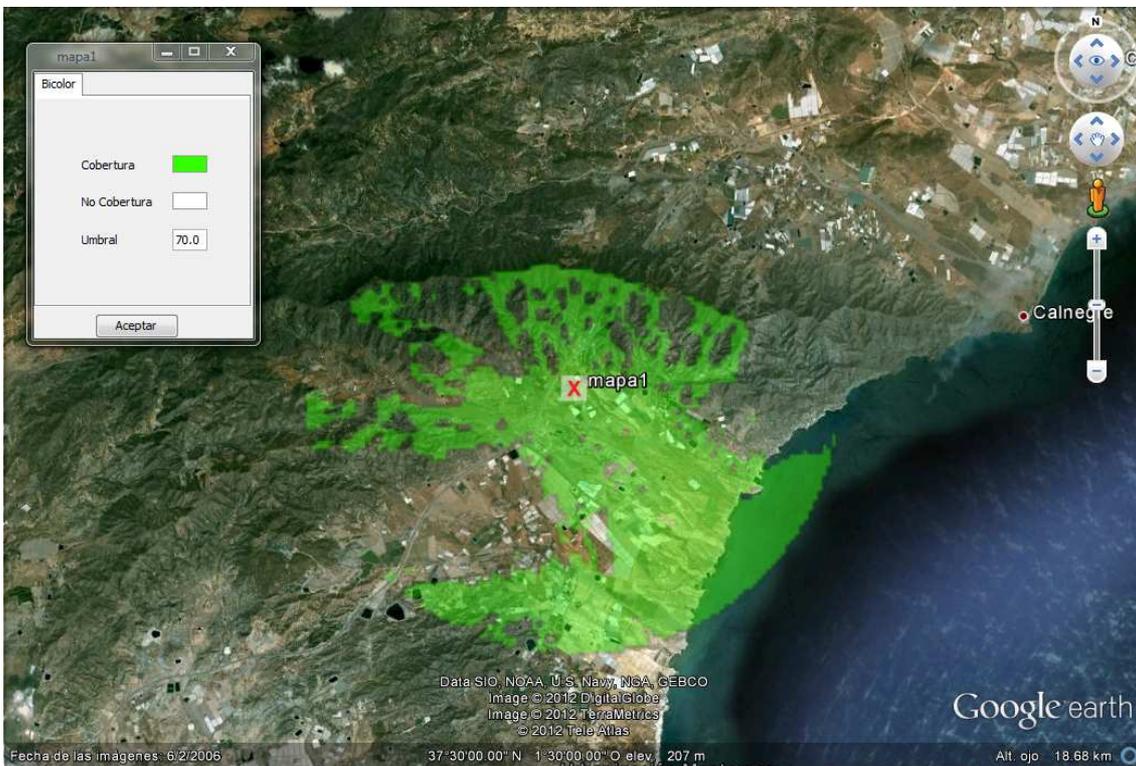


Figura 3-19 Mapa de visibilidad al 70%

Se puede observar cómo se distribuye los puntos a lo largo del terreno, cómo llega hasta el mar sin problemas, solo limitado por el radio de la zona de cálculo, o cómo también a la oeste de éste se adentra también los puntos donde se podría colocar la otra estación base.

Para continuar con el estudio, vamos a variar el umbral de visibilidad mínimo exigido. Volviendo al menú, cambiaremos el color que nos muestre *GoogleEarth* los puntos que cumplen con la condición exigida. De este modo, cambiamos el umbral mínimo exigido al 50% y lo ponemos en tonalidad azul, obteniendo la siguiente figura.

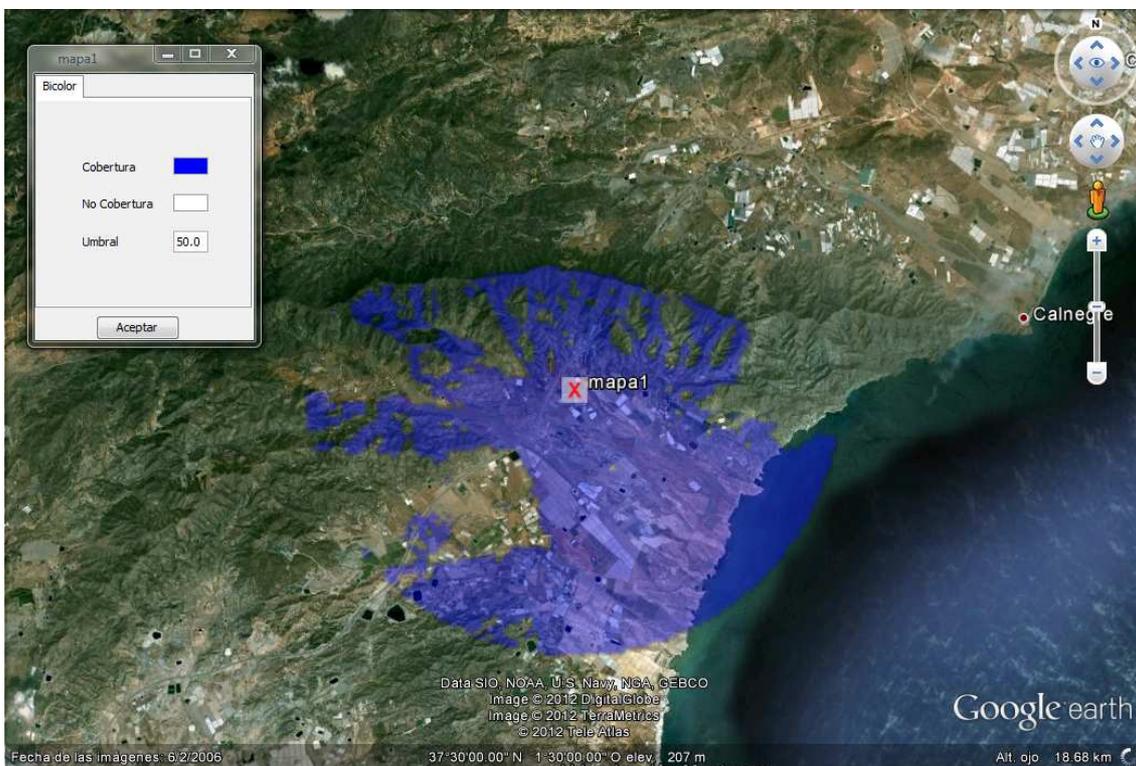


Figura 3-20 Mapa de visibilidad al 50%.

Como vemos en la figura anterior, al ser menos exigentes con la visibilidad mínima permitida, se amplían los puntos que cumplen la condición, aumentando sobre todo sobre la parte montañosa al sur de la estación base.

Ahora nos situamos en el caso más exigente, en el cual queremos comprobar qué puntos son aquellos que su visibilidad a la estación base es perfecta, es decir, es del 100%. Los resultados, para diferenciarlos, se realizan en color rojo.

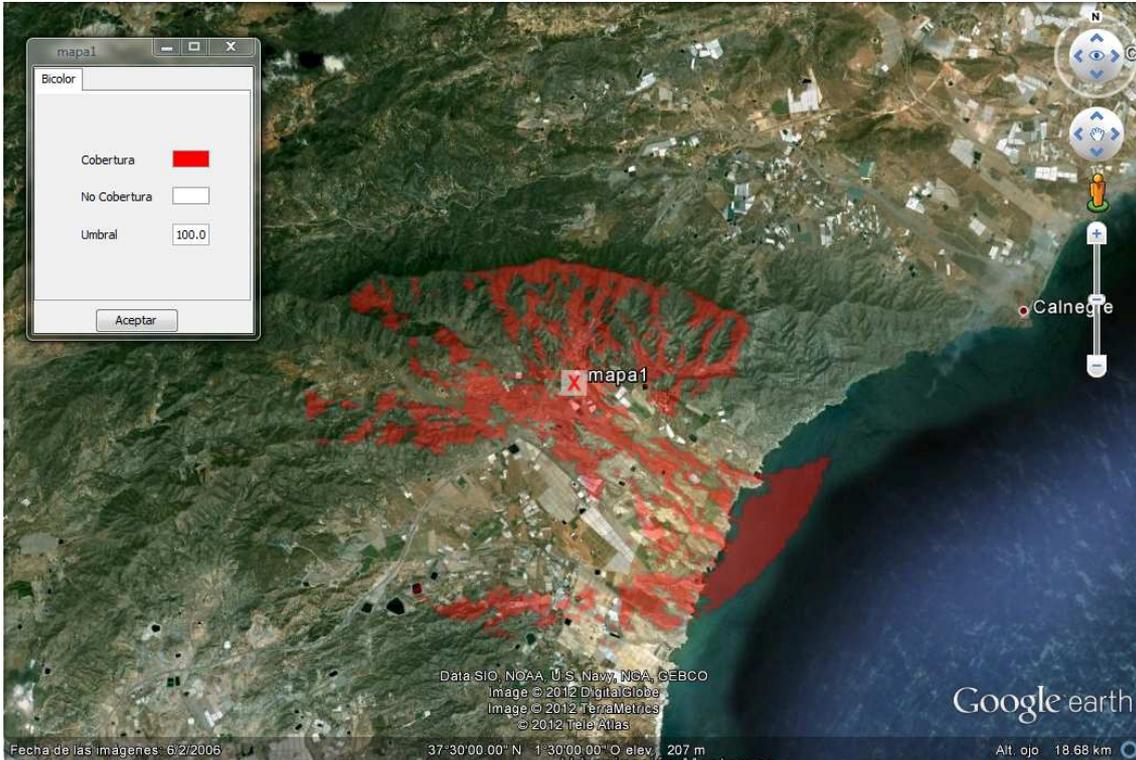


Figura 3-21 Mapa de visibilidad al 100%.

Como es de esperar, los puntos que cumplen la condición son mucho menores, ya que somos lo más exigentes posibles con el radioenlace. De este modo, podemos ver como que al oeste del radioenlace han desaparecido muchos de los puntos anteriormente marcados, mientras que al sur, estos son casi nulos. Por supuesto, el radioenlace sigue sin atravesar la montaña que tiene al norte del él.

Yéndonos al caso opuesto, vamos a comprobar que ocurre si la visibilidad mínima del radioenlace exigida es del 0.01%, es decir, queremos aquellos puntos del terrenos en los cuales les llega una pequeñísima parte de señal. Los resultados obtenidos se muestran en amarillo.

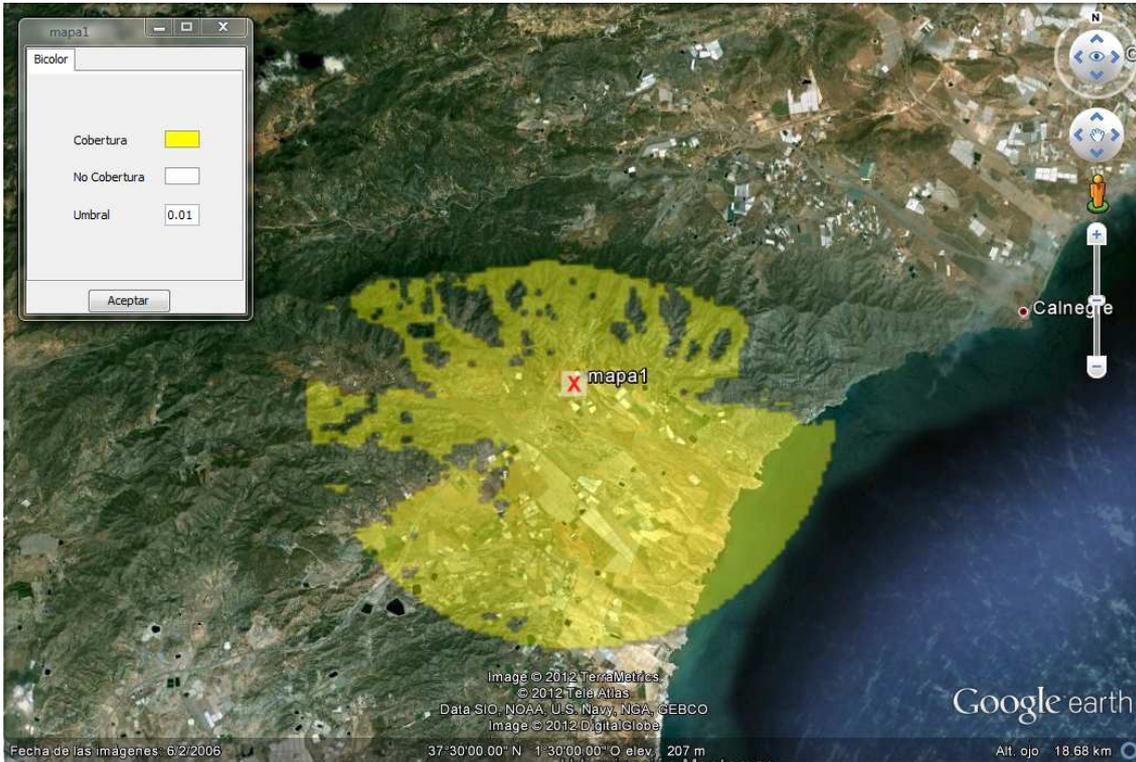


Figura 3 22 Mapa de visibilidad al 0.01%.

Como es normal, los puntos que cumplen esta condición han aumentado respecto a la condición de umbral mínimo del 50%. Cabe destacar que hay puntos, que aun estando dentro de la zona de cálculo, no reciben nada de señal, como al norte de la montaña, en los cuales jamás pasará nada de la señal.

Si el umbral exigido fuera del 0%, visualizaríamos de color amarillo toda la superficie de cálculo sin excepción alguna.

Con todos estos mapas realizados, podemos ver que la aplicación diseñada es bastante coherente y sus resultados son de gran ayuda a la hora de llevar a cabo el proyecto real.

Por último, vamos a proceder a combinar todas las imágenes de los umbrales realizados con anterioridad, para así ver que al reducir el umbral mínimo exigido la zona de visibilidad aumenta. De esta forma, y manteniendo los mismos colores de antes obtenemos la siguiente figura.

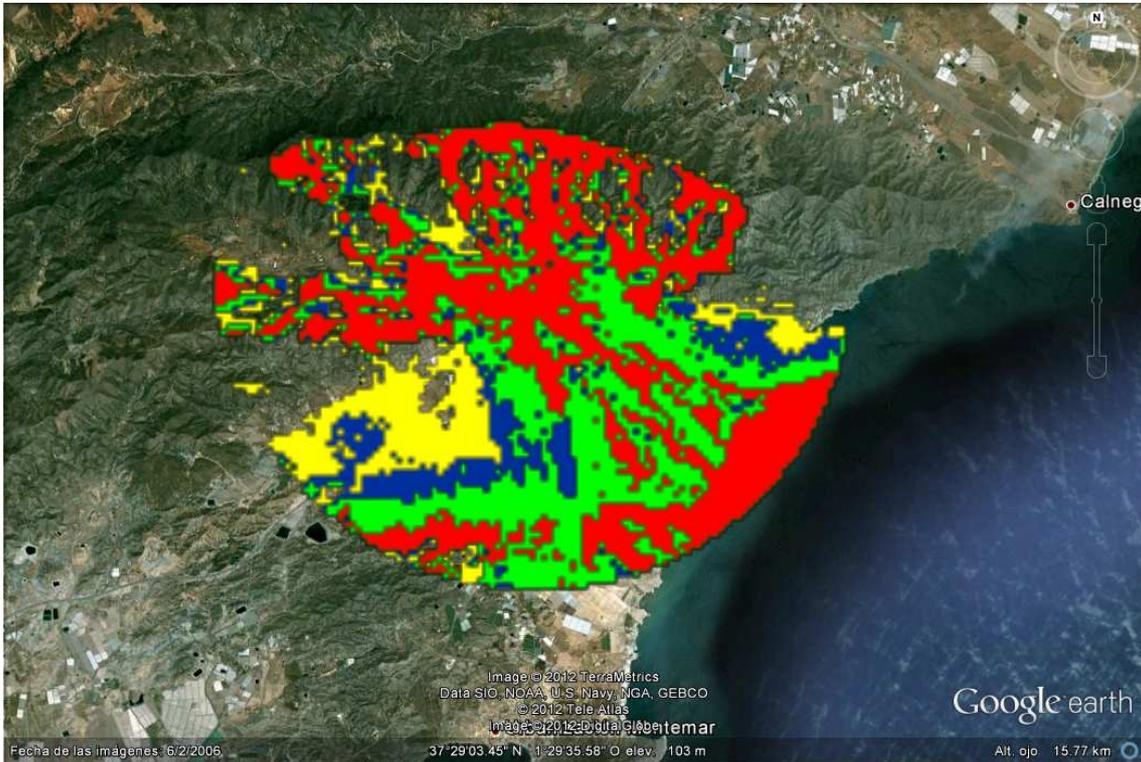


Figura 3-23 Mapas de visibilidad combinados.

Se ha aumentado la opacidad para no mezclar los colores y ver mejor las zonas a las que llega. De este modo vemos que una zona marcada por el 100%, en rojo, siempre está rodeada por un margen de visibilidad verde, del 70%, y éste a su vez por un margen de visibilidad del 50%, en azul. Por último, la zona más extensa es la amarilla, la que es el mínimo exigido al radioenlace.

Evidentemente hay que reseñar que una zona que aparezca, por ejemplo en verde, lleva por debajo las capas con un umbral mínimo exigido menor, como son la capa amarilla y azul, pero las cuales están ocultas tras él.

Ahora veremos la auténtica potencialidad de nuestra aplicación, en el cálculo de radioenlaces mediante su interconexión, es decir, situándonos en dos puntos, saber aquellos lugares que son válidos para realizar una conexión entre ambos, la cual de forma directa no sería posible realizar.

Nuestra herramienta, que nos ofrece un radio de cálculo, el cual tendrá zonas comunes entre ambas estaciones situadas en el terreno. Aplicando los datos del radioenlace, como su frecuencia y las alturas correspondientes para que ambos resultados coincidan, podremos ver donde ambas antes tienen puntos donde el umbral mínimo exigido es común, por lo que serán puntos válidos a la hora de situar la estación intermedia para realizar la comunicación mediante radioenlaces.

Para este caso, utilizaremos el mapa de visibilidad al 70% de la estación base antes calculado, como vemos en la figura.

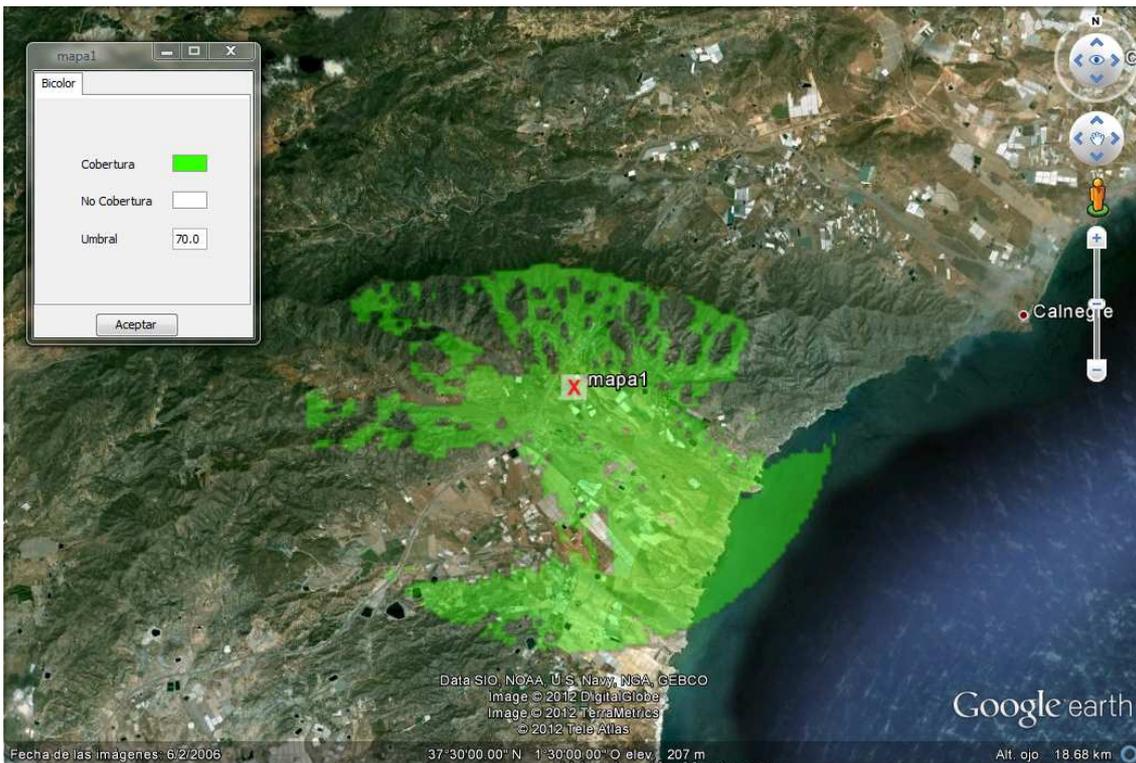


Figura 3-24 Mapa de visibilidad de la estación 1 al 70% de visibilidad.

Para el mismo caso, se propone conectar el radioenlace a una estación base que no es capaz de alcanzar dicho radioenlace.

Se procede a realizar un mapa de visibilidad de la otra estación base.

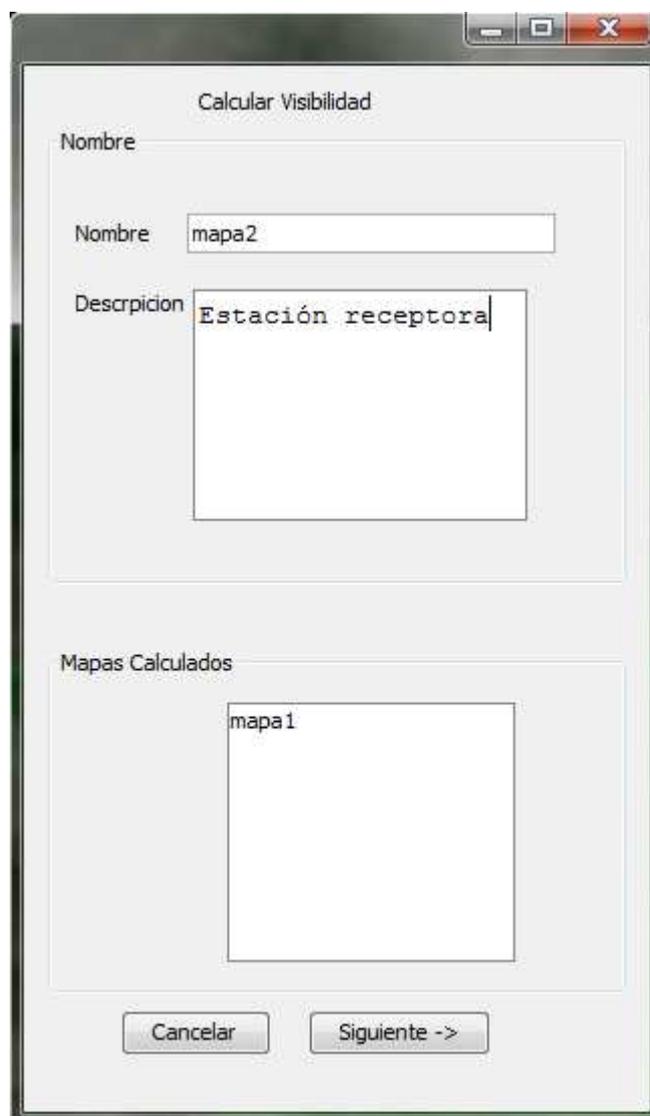


Figura 3-25 Descripción del mapa de visibilidad de la estación 2.

Dicha estación estará situada en (37.44443°, -1.500755°), una zona inaccesible por distancia a la primera estación.

Mapas Calculados

Estación Base

Abrir Latitud (Grados Decimales): 37.44443 Ir a

Longitud (Grados Decimales): -1.500765 Mapa

Altura sobre el suelo (m): 10

Altura sobre el suelo (m):

Altura sobre el suelo (m): 10

Estación móvil

Frecuencia: 900 MHz

Factor K: 1.33

Área de cálculo:

Radio (m): 5000

Umbral

Umbral % visibilidad: 70

Cancelar Aceptar

Figura 3-26 Valores para la estación 2 y su mapa de visibilidad.

Los parámetros del radioenlace han de ser similares, si bien se ha de transmitir a la misma frecuencia, y la antena receptora ha de ser de la misma altura para ambos casos, ya que se trata de la misma estación receptora.

Así el mapa de visibilidad con un umbral al 70% quedará reflejado en la siguiente figura.



Figura 3-27 Mapa de visibilidad de la estación base 2.

Podemos ver como el mapa de visibilidad asociado a la segunda estación se diversifica por el terreno, teniendo algunos puntos posibles como receptores que coinciden con los de la primera estación base.

RadioEarth, en su menú de consulta de base de datos, nos permite representa varios resultados obtenidos por distintas estaciones base. Así, combinando los mapas asociados es posible ver de forma muy intuitiva qué puntos cumplen la condición necesaria para ser estaciones intermedias en nuestro radioenlace deseado.

En la siguiente figura se muestra aquellos puntos coincidentes para ambas estaciones, candidatos prácticos a convertirse en la estación intermedia.



Figura 3-28 Mapas de visibilidad de las estaciones 1 (rojo) y 2 (azul).

Como vemos, para distinguir los mapas de visibilidad asociados a las estaciones, se han cambiado el color de los mapas asociados a cada una de ellas, de modo que el mapa de visibilidad de color rojo corresponde a la primera estación estudiada. El de color azul, a la estación actualmente calculada.

Como se observa en la figura, hay dos grandes áreas para colocar una posible estación base, esas áreas están definidas por la interconexión de los mapas de visibilidad de cada una de las estaciones, es decir, donde ambos colores se mezclan y aparece un tono morado claro.

Toda el área delimitada será un potencial punto para situar la estación intermedia, con lo que nuestro problema inicial queda resuelto de una manera sencilla y muy visual.

CAPÍTULO 4: “CONCLUSIONES Y FUTUROS TRABAJOS”

4. 1 CONCLUSIONES

Se ha implementado el cálculo de mapas de visibilidad radioeléctrica basado en perfiles de terreno, realizando así una mejora al cubrir la superficie total del área de cálculo, cubriendo así, de forma inmediata, todas las opciones posibles.

RadioEarth disponía de una herramienta que realizaba el perfil radioeléctrico entre dos puntos, pero que no era capaz de darnos el porcentaje de visibilidad que tenía el punto indicado. Con la nueva herramienta, este problema se elimina, ya que con el umbral mínimo exigido, garantizamos unas condiciones que permitan la transmisión en el radioenlace.

Con esta aplicación añadida a *RadioEarth* se da servicio a un problema que no había sido abarcado por las distintas compañías del sector, lo cual hacen que esta nueva herramienta sea innovadora y única dentro del sector de las telecomunicaciones.

Una de las problemáticas de esta nueva herramienta añadida a *RadioEarth*, vienen dada al usar la API ofrecida por *GoogleEarth* para la consulta de la elevación del terreno, la cual nos limita el número de consultas realizadas en un día, por lo que la realización de muchos cálculos de mapas radioeléctricos está bastante condicionada.

4.2 FUTURAS LÍNEAS

La aplicación *RadioEarth* tiene un amplísimo margen de ser mejorado mediante la adición de diversos módulos relacionados con el cálculo de parámetros propios de las telecomunicaciones, como se ha realizado en este proyecto.

Con nuestra nueva aplicación, se podrían marcar puntos sobre el terreno, los cuales sean óptimos para realizar comunicaciones en radioenlaces, pudiendo ser usados por varios enlaces a la vez, creando así una red más óptima intentando ahorrar el mayor número de estaciones posibles.

Otra mejora a destacar sería proporcionar una herramienta que pudiera definir el área de cálculo a otras figuras diferentes al círculo, para cubrir el área más específica que desee el usuario, sin necesidad así de generar gran cantidad de datos innecesarios para el usuario.

Siguiendo en la misma línea, si la API de *GoogleEarth* lo permitiera en un futuro, sería interesante permitir la captura de eventos de ratón, para que el usuario pueda definir el área de cálculo concreta que desee estudiar.

Otra de las mejoras respecto a esta nueva herramienta sería adaptar el cálculo del mapa de visibilidad a zonas urbanas, teniendo en cuenta las alturas de los edificios de la zona. Esto es ya posible, pues *GoogleEarth* nos ofrece incluso edificios tridimensionales, con sus alturas incluidas, lo que nos ayudará en el proceso del cálculo de estos mapas.

CAPÍTULO 5: “BIBLIOGRAFÍA”

5.1 BIBLIOGRAFÍA

[1] *RadioEarth*, descripción y descarga

<http://www.radiatio.com/paginainicioradioearth.php>

[2] Página oficial de *GoogleEarth* .

<http://www.google.es/intl/es/earth/index.html>

[3] Documentación API Google Maps.

<https://developers.google.com/maps/documentation/javascript/tutorial?hl=es-ES>

[4] Coordenadas UTM y Coordenadas geográficas.

<http://www.cartesia.org/data/apuntes/cartografia/cartografia-geograficas-utm-datum.pdf>

[5] Zona de Fresnel.

http://es.wikipedia.org/wiki/Zona_de_Fresnel

[6] Propagación básica de ondas electromagnéticas.

<http://www.members.fortunecity.es/unitec/probasic.htm>

[7] Planificación de radioenlaces.

http://www.xirio-online.com/help/es/hop_planning.html

[8] JM Hernando Rábanos, 'Transmisión por radio', Ed. Centro de estudios Ramón Areces, Tercera edición, 1998.

[9] Byron S. Gottfried (University of Pittsburgh), "Programación en C", Editorial McGraw-Hill, 1991.

[10] Borland C++.

http://en.wikipedia.org/wiki/Borland_C%2B%2B