



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

“DISEÑO DE UNA RED DE RADIO COMERCIAL Y ANÁLISIS DE
ENLACES MICROONDAS PARA LA CONEXIÓN DE
TRANSMISORES FM EN LA PROVINCIA DE GUAYAS USANDO
EL PROGRAMA RADIOMOBILE”

TRABAJO DE TITULACIÓN

Previo a la obtención del Título de:

MAGISTER EN TELECOMUNICACIONES

VERÓNICA ALEXANDRA GARCÍA ZAMBRANO

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2016

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a mi Dios por la vida y cada momento de ella, a mi esposo por compartir y alegrar mi día a día, a mis hijos por ser mis fuentes de energía, a mis padres por ser mis guías y a toda mi familia por ser mi apoyo constante.

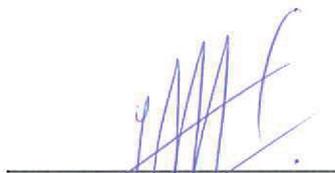
A mis compañeros y profesores de la Maestría por su amistad y conocimientos impartidos. A mi director Dr. Michele D'Amico por su gran ayuda en el paso final de esta meta propuesta y al Dr. Boris Ramos por impulsar el conocimiento con su Coordinación de la Maestría y por su apoyo en todo el proceso.

Y también quiero agradecer mucho a la ESPOL, por su acogida y por formarme como profesional.

DEDICATORIA

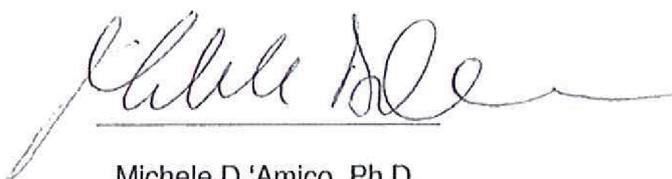
Quiero dedicar este trabajo a mi esposo Fernando, a mi Catalina, a mi Nicolás y a nuestro bebé Joaquín en camino.

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



Miguel Yapur Auad, MSc.

Decano FIEC



Michele D'Amico, Ph.D.

Director de Tesis



Vladimir Sánchez Padilla, M.Sc.

Vocal Principal

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad y la autoría del contenido de este Trabajo de Titulación, me corresponde exclusivamente; y doy mi consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"



VERÓNICA ALEXANDRA GARCÍA ZAMBRANO

RESUMEN

En la presente tesis se realiza el diseño de una red de radio comercial FM usando el programa Radiomobile para cubrir la provincia del Guayas. Además se diseña y analiza los enlaces microondas que conectan los transmisores FM.

Se ha escogido Radiomobile porque es el único programa gratuito disponible que implementa el modelo de predicción Longley-Rice dando resultados con una muy buena aproximación, siendo utilizado además por usuarios profesionales.

Mediante el uso de mapas de elevación, se considera la topografía de la provincia del Guayas, los cuales son descargados por el mismo programa y se simula el área de cobertura para los niveles de intensidad propuestos por las recomendaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) y por la Agencia de Regulación y Control de Telecomunicaciones del Ecuador (ARCOTEL).

Se considera además para el diseño de los enlaces microondas los lineamientos indicados en las Recomendaciones UIT que incluyen las pérdidas por atenuación por lluvia.

Se muestra la descripción técnica de la red FM y de los enlaces microondas y los resultados de la simulación usando herramientas del programa Radiomobile.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO	i
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	iii
DECLARACIÓN EXPRESA	iv
RESUMEN	v
ÍNDICE GENERAL.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS	ix
GLOSARIO	x
ABREVIATURAS	xi
INTRODUCCIÓN	xii
CAPÍTULO 1	1
1. MARCO REFERENCIAL.....	1
1.1 Definición del Proyecto.....	1
1.2 Justificación	1
1.3 Objetivos.....	2
1.4 Alcances y limitaciones	3
1.5 Metodología.....	4
CAPÍTULO 2	5
2. RADIOMOBILE Y EL MODELO ITM.....	5
2.1 Descripción del Programa Radiomobile.....	5
2.1.1 Reseña Histórica	5
2.1.2 Funcionamiento	5
2.1.3 Capacidades y limitaciones	6
2.1.4 Mapas de elevación.....	6
2.2 Descripción del Modelo ITM (Longley-Rice)	6
2.2.1 Definición.....	6
2.2.2 Parámetros en común del modelo ITM y otros modelos de propagación.....	7

2.2.3 Parámetros específicos del modelo ITM usados por Radiomobile	8
CAPÍTULO 3	10
3. DISEÑO DE LA SIMULACIÓN.....	10
3.1 Definición del Área de Estudio	10
3.2 Procesamiento de la Información Geográfica	11
3.3 Arquitectura de Red Propuesta.....	11
3.4 Descripción Técnica de la Red FM	12
3.4.1 Parámetros	13
3.4.2 Topología.....	14
3.4.3 Sistema transmisor: Unidades y parámetros	15
3.4.4 Sistema receptor: Unidades y parámetros.....	15
3.5 Descripción Técnica de los Enlaces Microondas	16
3.5.1 Parámetros	16
3.5.2 Topología.....	19
3.5.3 Sistema transmisor: Unidades y parámetros	19
3.5.4 Sistema receptor/repetidor: Unidades y parámetros	19
CAPÍTULO 4	22
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	22
4.1 Análisis de los Enlaces Microondas	22
4.2 Análisis del Área de Cobertura	24
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	29
BIBLIOGRAFÍA.....	31
ANEXO A.....	34
ANEXO B.....	41

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1. Ubicación de la Provincia del Guayas	10
Figura 3.2. Descarga de los mapas para las coordenadas indicadas vía SRTM.....	11
Figura 3.3. Ubicación de antenas FM	15
Figura 3.4. Valores de intensidad de lluvia para Sudamérica.....	17
Figura 3.5. Esquema de enlaces microondas entre unidades.....	21
Figura 4.1. Herramienta Radio Enlace para enlace CA – Rep1	23
Figura 4.2. Herramienta Cobertura de Radio Cartesiana Combinada para red FM.	25
Figura 4.3. Cobertura de la red FM en la provincia del Guayas	26
Figura 4.4 Patrones de antenas omnidireccional, parabólica y yagi.....	29
Figura 4.5 Cobertura de la red FM mostrada en el programa Google Earth..	31
Figura A.1. Enlace CA – REP2	34
Figura A.2. Enlace CA – REP3	34
Figura A.3. Enlace CA – REP4	35
Figura A.4. Enlace CA – Rec5	35
Figura A.5. Enlace CA – Rec6	36
Figura A.6. Enlace REP1 – Rec1	36
Figura A.7. Enlace REP1 – REP1.1	37
Figura A.8. Enlace REP1.1 – REP1.1.1	37
Figura A.9. Enlace REP1.1.1 – Rec1.1.1	38
Figura A.10. Enlace REP2 – Rec2.1	38
Figura A.11. Enlace REP2 – Rec2.2.....	40
Figura A.12. Enlace REP3 – Rec3.....	40
Figura A.13. Enlace REP4 – Rec4.....	39

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Rangos de entrada del modelo ITM.	7
Tabla 2. Valores típicos de permitividad y conductividad.	8
Tabla 3. Ubicación de las unidades	12
Tabla 4. Sistemas transmisores.....	15
Tabla 5. Sistema receptor.....	16
Tabla 6. Sistema Punto a punto para enlaces microondas	20
Tabla 7. Enlaces de CA	23
Tabla 8. Valores de propagación de los enlaces microondas propuestos	24

GLOSARIO

AM	Amplitud Modulada
ARCOTEL	Agencia de Regulación y Control de Telecomunicaciones del Ecuador
DTED	Digital Terrain Elevation Data
EIRP	Equivalent Isotropic Radiated Power (Potencia Isotrópica Radiada Equivalente)
FM	Frecuencia Modulada
GTOPO30	Global 30 Arc-Second Elevation
ITM	Irregular Terrain Model
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
UIT	Unión Internacional de Telecomunicaciones
UTM	Universal Transverse Mercator
WLAN	Wireless Local Area Network (Red de Área Local Inalámbrica)
WGS84	World Geodetic System 1984

ABREVIATURAS

dBW	Decibelio relativo a un Watio (W)
dBmW	Decibelio relativo a un miliWatt (mW)
Ghz	Gigahertz
MHz	Megahertz
μ V	Microvoltios
mW	MiliWatts
W	Watios

INTRODUCCIÓN

La presente tesis tiene como objetivo diseñar una red de radio comercial y analizar los enlaces microondas que conectan los transmisores/repetidores FM que se propongan. Mediante el uso del programa Radiomobile se planea cubrir la provincia del Guayas incluyendo su topografía en base a mapas de elevación descargados por el mismo programa. Se simulará el área de cobertura para los niveles de intensidad propuestos por las recomendaciones de la UIT y por ARCOTEL.

El capítulo 1 contiene el marco referencial del proyecto, los antecedentes, justificación, los objetivos, el planteamiento del problema y el modelo propuesto para la solución del problema, los alcances, las limitaciones y la metodología de la investigación.

El capítulo 2 contiene la descripción del programa Radiomobile, su reseña histórica, su funcionamiento, capacidades y limitaciones, y mapas de elevación. También contiene la descripción del Modelo ITM (Irregular Terrain Model) o Longley-Rice, los parámetros en común entre el modelo ITM con otros modelos de propagación, así como los usados por el programa Radiomobile.

El capítulo 3 contiene el diseño de la simulación, la definición del área de estudio, el mecanismo de obtención de los datos de elevación, la arquitectura de red propuesta con la ubicación de las unidades. También se muestra la descripción técnica de la red FM; y de los enlaces microondas, incluyendo sus parámetros, topologías, y sistemas transmisor/receptor/repetidor.

El capítulo 4 presenta un análisis de resultados de los enlaces microondas y del área de cobertura de la simulación de la red propuesta.

CAPÍTULO 1

1. MARCO REFERENCIAL

1.1 Definición del Proyecto

La necesidad de conocer el comportamiento de las redes de telecomunicaciones previa su puesta en marcha, ha animado a la creación de paquetes informáticos que sirvan para simular y modificar una red de radio a pedido del usuario.

Parte de las radiocomunicaciones son las transmisiones por redes FM y los radioenlaces microondas, los cuales se diseñarán en el presente trabajo haciendo uso del programa RadioMobile, el cual es una herramienta gratuita que permite introducir el factor topografía del área de estudio deseada para su simulación y posterior análisis.

El estudio deberá hacer uso de las recomendaciones de las organizaciones internacionales y locales para definir límites de intensidad de señal en las áreas geográficas a tratar.

1.2 Justificación

La topografía para el diseño de una red de enlaces de radio es un parámetro muy importante que limita los puntos de ubicación de los elementos de telecomunicaciones con el fin de alcanzar un área de cobertura requerida. Dado

el relieve irregular de la provincia del Guayas es necesario usar herramientas que tomen en cuenta la topografía del sitio como un factor de diseño.

El estudio teórico de las coberturas y enlaces para un área extensa además, podrían convertirse en un proceso demorado y meticuloso de realizar, pero se puede solucionar el problema haciendo uso de un paquete informático como Radiomobile que permite analizar un área geográfica determinada y que cuenta con una herramienta de inclusión de mapas de elevación.

Dado que RadioMobile está basado en un modelo de terreno irregular llamado ITM, simula la propagación de ondas de radio a partir de puntos ingresados por el usuario con la mejor ubicación y parámetros de las antenas para el buen rendimiento de la red según sea planificado y analizado.

De esta forma, ingresando los mapas correspondientes a la zona de la provincia del Guayas, se podrá tener un estudio más detallado de una red de radio y que podría ser aplicado para posteriores estudios de otras provincias usando sus respectivos mapas.

1.3 Objetivos

El objetivo principal de esta tesis es el diseño de una red de radio comercial y análisis de enlaces microondas para la conexión de transmisores FM en la provincia del Guayas usando el programa Radiomobile.

Los objetivos específicos son:

1. Definir los parámetros que intervienen en el diseño de una red comercial de radio FM.
2. Detallar la cantidad y la localización de los transmisores y antenas de la red de radio comercial FM que cubran la provincia del Guayas.
3. Detallar la cantidad y la localización de los transmisores y repetidores microondas para la red de radio comercial FM.
4. Analizar los radioenlaces microondas entre transmisores y repetidores FM.

5. Definir los valores óptimos de los distintos parámetros de los equipos para lograr el mejor desempeño de la red a elaborarse.

1.4 Alcances y limitaciones

El alcance técnico del presente proyecto se enfocará en diseñar una red FM que contenga las unidades requeridas para cubrir el área de la provincia del Guayas logrando la conexión entre las unidades repetidoras FM indicando los enlaces microondas propuestos.

Se podrá apreciar los beneficios de analizar visualmente el comportamiento de una red propuesta y la posibilidad de verificar las conexiones usando un programa informático. Se detallará también las configuraciones de cada unidad y el área resultante de cobertura de la red propuesta.

Como limitantes se pueden indicar:

1. Se encontraron coordenadas geográficas marcadas en los mapas de elevaciones SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) descargados por el programa con alturas distintas a las indicadas por Google Earth.
2. Existen puntos con alturas cero en los mapas que carga Radiomobile.
3. La escasa información de libre acceso en Internet respecto a las estaciones de radio AM o FM instaladas en el Ecuador con parámetros reales, así como de estudios de propuestas de redes FM usando Radiomobile como referencia para este estudio. En mi caso por encontrarme en otra localidad no he podido solicitar personalmente mediante formularios al ente encargado la información requerida, por lo que he recurrido a la disponible abiertamente en Internet como indicado en el texto.
4. La forma irregular de la provincia del Guayas con muchas elevaciones que no permiten coberturas más extensas de la señal de radio FM, principalmente en la zona oeste de la provincia (cantón Playas), en el área de la Reserva Ecológica Churute (cantón Naranjal) y en la parte sur de Naranjal.

1.5 Metodología

En el presente trabajo para la solución del problema planteado la metodología de la investigación es de tipo bibliográfico porque se realiza la consulta de libros, manuales, recomendaciones, regulaciones, tesis, y otros tipos de información que de ser el caso se consideren importantes y necesarios para realizar la investigación y que han pasado por un proceso de revisión técnica.

Se tomarán como guías las recomendaciones de la UIT y las normas de ARCOTEL, para los valores establecidos de intensidad de campo aceptados para el área de estudio.

También se tomarán como guías las recomendaciones de UIT para definir la frecuencia de trabajo de los enlaces microondas que permita la menor atenuación posible en situaciones de lluvia, así como referirse al Plan Nacional de Frecuencias establecido por ARCOTEL, para hacer uso de las frecuencias que estén disponibles para enlaces fijos.

Se consultará además tutoriales existentes de uso del programa RadioMobile para resolver cualquier inquietud que se presente durante la investigación.

CAPÍTULO 2

2. RADIOMOBILE Y EL MODELO ITM

2.1 Descripción del Programa Radiomobile

2.1.1 Reseña Histórica

Radio Mobile es un programa de simulación de radio propagación gratuito desarrollado por Roger Coudé en el año 1998 para predecir el comportamiento de sistemas radio, simular radioenlaces y representar el área de cobertura de una red de radiocomunicaciones. A la fecha actual se registran 11 versiones, en las cuales se han mejorado características referentes a la visualización de la zona Fresnel, mayor resolución del mapa topográfico, visualización de la cobertura de radio, la posibilidad de exportar los radioenlaces a Google Earth, entre otros.

2.1.2 Funcionamiento

El programa trabaja en el rango de frecuencias entre 20MHz y 20Ghz y está basado en el modelo de propagación ITM o modelo Longley-Rice.

Radio Mobile utiliza datos de elevación del terreno que se descargan gratuitamente de Internet para crear mapas virtuales del área de interés,

vistas estereoscópicas, vistas en 3-D y animaciones de vuelo y opera usando varios sistemas de coordenadas geográficas.

Además cuenta con herramientas para la visualización y análisis del área de cobertura y de los enlaces simulados [1].

2.1.3 Capacidades y limitaciones

Radiomobile permite trabajar con herramientas como gráficos de cobertura de radio polar, gráficos de cobertura de radio cartesiano, análisis de resultados de radioenlaces, visualización de las zonas de Fresnel, y para las unidades que se introduzcan sus parámetros son modificables, como por ejemplo la frecuencia, ubicación, alturas, tipo y ganancia de antena, pérdidas de transmisión, entre otros.

Por otro lado, el programa no cuenta con una buena visualización ampliada del área de ubicación de una unidad, por lo que se utilizó el visor Google Earth para precisar la definición de los puntos de ubicación.

2.1.4 Mapas de elevación

Radiomobile permite la descarga de mapas de elevación tales como: Global 30 Arc-Second Elevation (GTOPO30), Digital Terrain Elevation Data (DTED) y SRTM. En el presente estudio se utilizó los datos de elevación SRTM que provee datos de altitud con una precisión de 3 segundos de arco (100m).

Los mapas que carga RadioMobile pueden tener puntos con alturas cero. Para corregirlo se descargó de forma gratuita un ejecutable llamado SRTMFill que rellena los mapas mediante interpolación de los datos existentes con la fuente SRTM [2].

2.2 Descripción del Modelo ITM (Longley-Rice)

2.2.1 Definición

El Modelo ITM de radio propagación para frecuencias entre 20MHz y 20Ghz, también llamado modelo Longley-Rice es un modelo de

propósito general que está basado en teoría de propagación y en análisis estadísticos de características del terreno y mediciones de radio. Predice la atenuación media de una señal de radio en función de la distancia y la variabilidad de la señal en el tiempo y en el espacio.

El modelo es descrito para hacer predicciones de área para estimaciones preliminares del diseño de un sistema, situaciones tácticas militares y vigilancia y sistemas tierra-móviles [3, pp. 7].

Predice la atenuación media de una señal de radio en espacio libre en función de la distancia y la variabilidad de la señal en el tiempo y en el espacio, dados la frecuencia, la altura de la antena y un estimado de la irregularidad del terreno.

El modelo está previsto que sea usado en los siguientes rangos:

Frecuencia	20MHz a 20Ghz
Altura de la antena	0.5 a 3000m
Distancia	1km a 2000km
Refractividad de la superficie	250 a 400 N- unidades

Tabla 1. Rangos de entrada del modelo ITM [4]

Para el diseño de la red propuesta, el modelo Longley-Rice considera parámetros que se ajustan a las características particulares del área de estudio, especialmente la frecuencia de operación, la irregularidad del terreno y el clima.

2.2.2 Parámetros en común del modelo ITM y otros modelos de propagación

1. Frecuencia: el rango de frecuencias nominales para el modelo varía entre 20MHz a 20Ghz.
2. EIRP: la Potencia Isotrópica Equivalente Radiada, en unidades mW, W, kW, dBm, dBW.

3. Antenas: por defecto se usa omnidireccional, sino se especifica la antena directiva.
4. Altura de las antenas: considera la altura de las antenas sobre el nivel del mar. Expresada en unidades metros o pies.

2.2.3 Parámetros específicos del modelo ITM usados por Radiomobile

1. Polarización: se debe especificar el tipo de polarización vertical u horizontal.
2. Refractividad: la refractividad de la atmósfera determina la cantidad de curvatura que tendrán las ondas de radio. Utiliza por defecto 4/3 (1.333) para condiciones atmosféricas promedio.
3. Permitividad: la permitividad relativa o constante dieléctrica del medio (ϵ), con valores típicos tabulados en tabla 2.
4. Conductividad: medida en Siemens por metro, con valores típicos tabulados en la tabla 2.

	Permitividad (ϵ)	Conductividad (S/m)
Tierra media	15	0.005
Tierra pobre	4	0.001
Tierra rica	25	0.02
Agua fresca	81	0.01
Agua mar	81	5

Tabla 2. Valores típicos de permitividad y conductividad [5, pp. 12]

5. Clima: considera 7 modelos distintos de clima, Ecuatorial, Continental Subtropical, Marítimo Subtropical, Desértico, Continental Templado, Marítimo Templado sobre tierra y Marítimo templado oceánico.
6. Variabilidad: determina 4 modos de variabilidad que determina la fiabilidad de los valores usados en el modelo. Estos modos de variabilidad son: Modo de mensaje único, Modo individual, Modo móvil y Modo Difusión.

Los tipos de variabilidad utilizados en el modelo Longley-Rice son el tiempo, la posición y la variabilidad de situación, para considerar y clasificar variaciones en los niveles de señal medidos.

En la variabilidad de tiempo intervienen los cambios por fenómenos atmosféricos que han modificado el comportamiento de las mediciones en el tiempo.

En la variabilidad por localización intervienen las diferencias en los perfiles del terreno o diferencias ambientales entre los sitios.

En la variabilidad por situación se toman en cuenta variables cuyos efectos no interesan para el estudio.

En los tres casos, son expresados en porcentajes de 0.1% al 99.9%, escoger un porcentaje mayor en este valor reduce la variabilidad resultante de estos factores [3, pp. 35-37].

CAPÍTULO 3

3. DISEÑO DE LA SIMULACIÓN

3.1 Definición del Área de Estudio

Ubicación geográfica de la provincia del Guayas

La provincia del Guayas se encuentra ubicada al norte en $0^{\circ}50'22.52''\text{S}$ $79^{\circ}32'3.34''\text{O}$, al sur $3^{\circ}3'18.24''\text{S}$ $79^{\circ}51'56.47''\text{O}$, al este $80^{\circ}33'42.92''\text{O}$ $2^{\circ}30'31.12''$ y al oeste $79^{\circ}5'49.9''\text{S}$ $2^{\circ}7'55''\text{O}$.



Figura 3.1. Ubicación de la Provincia del Guayas

3.2 Procesamiento de la Información Geográfica

Obtención de datos de elevación

Para obtener los mapas de elevación desde la base de datos SRTM incluida para su descarga en RadioMobile, basta con especificar la coordenada geográfica correspondiente al centro del área de estudio e indicar la longitud L deseada en kilómetros para dicha área. El programa recorta un área cuadrada de dimensiones LxL en kilómetros cuadrados.

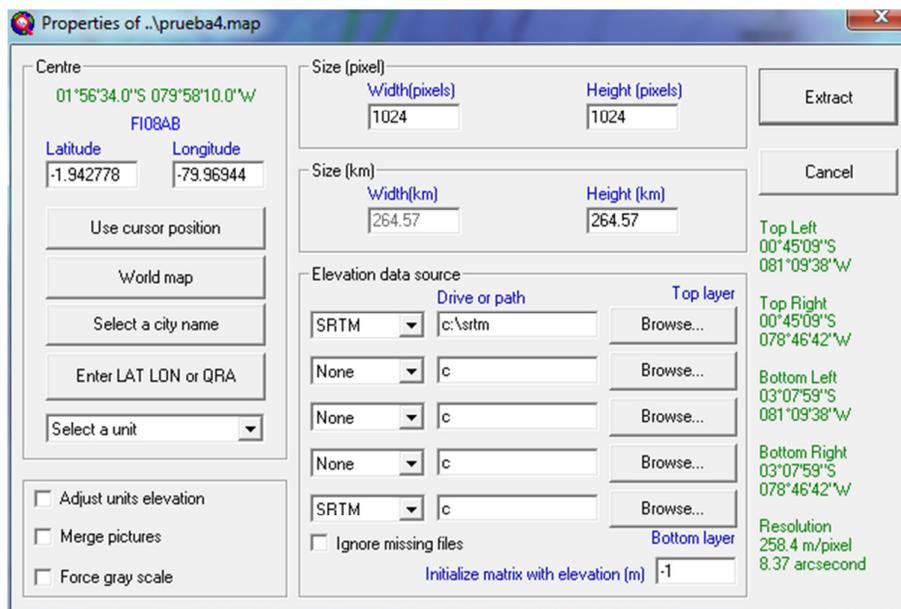


Figura 3.2. Descarga de los mapas para las coordenadas indicadas vía SRTM

3.3 Arquitectura de Red Propuesta

En este apartado se detallan las unidades que conforman la red de transmisores FM y la interconexión entre ellos usando enlaces microondas.

Ubicación de las unidades

El sistema de coordenadas utilizado es el UTM y el datum utilizado WGS84.

Estación	Latitud	Longitud	Altura(m)
CA	02°09'05.9"S	79°58'01.3"O	455
REP1	01°42'03.6"S	80°13'05.9"O	220
Rec1	01°21'05.8"S	80°06'49.5"O	87
REP1.1	01°10'50.0"S	79°57'29.7"O	101
REP1.1.1	01°04'34.6"S	79°48'23.8"O	62.4
Rec1.1.1	00°59'29.0"S	79°40'57.1"O	78
REP2	02°23'54.5"S	79°41'02.5"O	625
Rec2.1	02°44'20.5"S	79°36'42.5"O	628.4
Rec2.2	02°47'06.0"S	79°39'13.1"O	672
REP3	02°24'50.8"S	79°34'54.0"O	366.7
Rec3	02°12'33.5"S	79°20'39.7"O	70
REP4	01°55'45.7"S	79°45'49.8"O	277
Rec4	02°01'17.2"S	79°32'03.1"O	21.4
Rec5	02°27'29.5"S	80°20'45.0"O	145
Rec6	02°31'09.7"S	80°29'35.4"O	257

Tabla 3. Ubicación de las unidades

3.4 Descripción Técnica de la Red FM

La red FM propuesta mostrada en la figura 3.3 consta de 15 unidades FM distribuidas dentro del área de estudio con la finalidad de asegurar la cobertura deseada con los niveles de señal acorde a las recomendaciones vigentes.

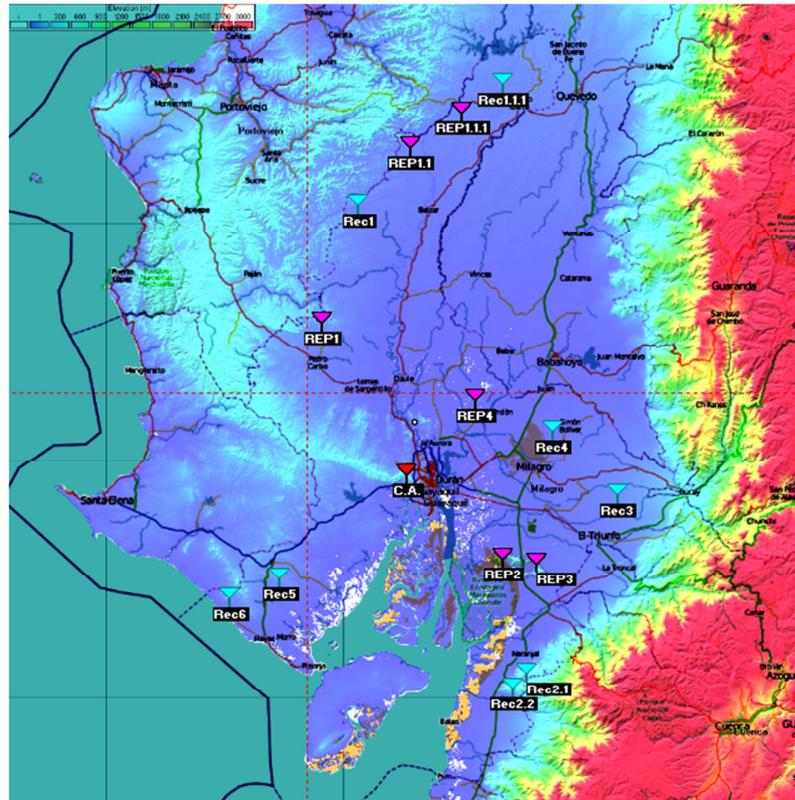


Figura 3.3. Ubicación de antenas FM

3.4.1 Parámetros

3.4.1.1 Frecuencia

Se ha fijado para que trabaje en las frecuencias 88MHz a 108MHz, especificadas para servicios de Radiodifusión [6].

3.4.1.2 Polarización

Se definió polarización vertical porque es la polarización más comúnmente usada para sistemas de radio FM. Esto se debe a que los principales usuarios de los sistemas de radiodifusión FM son los conductores de vehículos. Las antenas de radio para carros son verticalmente polarizadas y comercialmente

más económicas que los sistemas transmisores polarizados horizontal o híbridamente.

3.4.1.3 Modo estadístico

El programa permite seleccionar varias opciones para tratar la variabilidad en las transmisiones, entre ellas se encuentran Intento, Accidental, Móvil y Difusión.

Para el presente estudio se seleccionó la opción Difusión con un valor del 90% del tiempo con el fin de reducir la variabilidad resultante de la acción de fenómenos atmosféricos, que para el caso de la zona de análisis es la lluvia, y asegurando que el valor real medido será igual o superior al resultado calculado por el programa en un 90% del tiempo.

Por localización se definió al 90% para asegurar que el campo recibido sea igual o superior al obtenido por el programa al tomar en cuenta diferencias en los perfiles del terreno.

Y por situación se especificó del 80%, menor a los otros modos debido a que toma en cuenta efectos por variables ocultas o que no son de interés controlar y que afecten al estudio y sus resultados.

3.4.1.4 Tipo de clima

El tipo de clima aplicable a la ubicación del país es Ecuatorial, por encontrarse en torno al ecuador y que se recibe una intensa insolación durante todo el año, debido a la idéntica duración del día y de la noche como a la perpendicularidad de los rayos solares [7].

3.4.2 Topología

La topología corresponde a una Red de Voz (Comando/Subordinado/Retransmisor), que es la opción ofrecida por el programa que mejor define el comportamiento de una red FM, estableciendo comunicación entre los transmisores principales (antenas

de radio) y los receptores (radios portátiles), además permite configurar unidades de retransmisión para mejorar su desempeño.

3.4.3 Sistema transmisor: Unidades y parámetros

Se ha definido sistemas que guardan la información de los equipos transmisores a simular. A continuación la tabla 4 presenta los parámetros considerados con sus respectivas unidades asignadas.

Nombre	Potencia de transmisión (W)	Umbral de recepción (uV)	Pérdidas de Línea (dB)	Tipo de antena	Ganancia de antena (dBi)	Altura de antena (m)	Unidades
Tx omni 2.5kW	2500	1.42	2.5	Omni	5.15	25	CA, REP1, Rec5
Tx omni 2kW	2000	1.41	2.5	Omni	5.15	25	Rec1
Tx omni 1kW	1000	1.41	2	Omni	4.15	25	REP1.1, REP1.1.1, Rec1.1.1
Tx omni 750W	750	1.41	1.5	Omni	2.15	25	Rec3, Rec4
Tx omni 500W	500	1.41	1.5	Omni	2.4	25	REP2, Rec2.1
Tx omni 250W	250	1.41	0.5	Omni	2.4	25	REP3
Tx yagi 1kW	1000	7.0795	0.05	Yagi	5.65	25	Rec2.2, REP4, Rec6

Tabla 4. Sistemas transmisores [8] [9] [10]

3.4.4 Sistema receptor: Unidades y parámetros

Para el sistema receptor, es decir, para los receptores móviles se estableció que todos tengan las mismas características. La tabla 5 presenta sus características:

Nombre	Potencia de transmisión (W)	Umbral de recepción (uV)	Pérdidas de Línea (dB)	Tipo de antena	Ganancia de antena (dBi)	Altura de antena (m)	Unidad
Rx omni	0	0.5	0.5	Omni	0	2	Móvil

Tabla 5. Sistema receptor [5, pp.56]

3.5 Descripción Técnica de los Enlaces Microondas

Para la conexión y transmisión a través de toda la red de una misma señal de radio FM se hizo uso de enlaces microondas para interconectar las unidades FM.

3.5.1 Parámetros

3.5.1.1 Determinación de la frecuencia

Se consultó el Plan Nacional de Frecuencias de ARCOTEL [11] para concretar las frecuencias libres a utilizar para servicio fijo y poder seleccionar los rangos de frecuencias que produzcan la menor atenuación. Uno de los rangos que se indican es 5925-6425MHz.

Se escogió la frecuencia 6093 a 6103MHz con un ancho de banda de 10MHz, con el afán de no usar frecuencias en los 5Ghz comúnmente usada por las WLAN.

Dado que es conocido que los factores atmosféricos influyen en el desempeño de las telecomunicaciones, se ha considerado la Recomendación UIT-R P.838-3 aplicable a frecuencias entre 1 y 1000Ghz, para incluir la atenuación específica debida a la lluvia la cual varía de acuerdo a la frecuencia escogida.

De esta recomendación se obtiene la ecuación (3.1) que describe la atenuación específica γ_R (dB/km) que considera la

intensidad de lluvia R (mm/h) y los valores de los coeficientes k y α que son función de la frecuencia.

$$Y_R = kR^\alpha \quad (3.1) [12]$$

La figura 3.2 parte de la Recomendación UIT-R P.837-6 presenta los diferentes valores de intensidad de lluvia para Sudamérica que son excedidos en 0.01% del tiempo en un año promedio, como se observa para el área de estudio se ha definido R en 70mm/h.

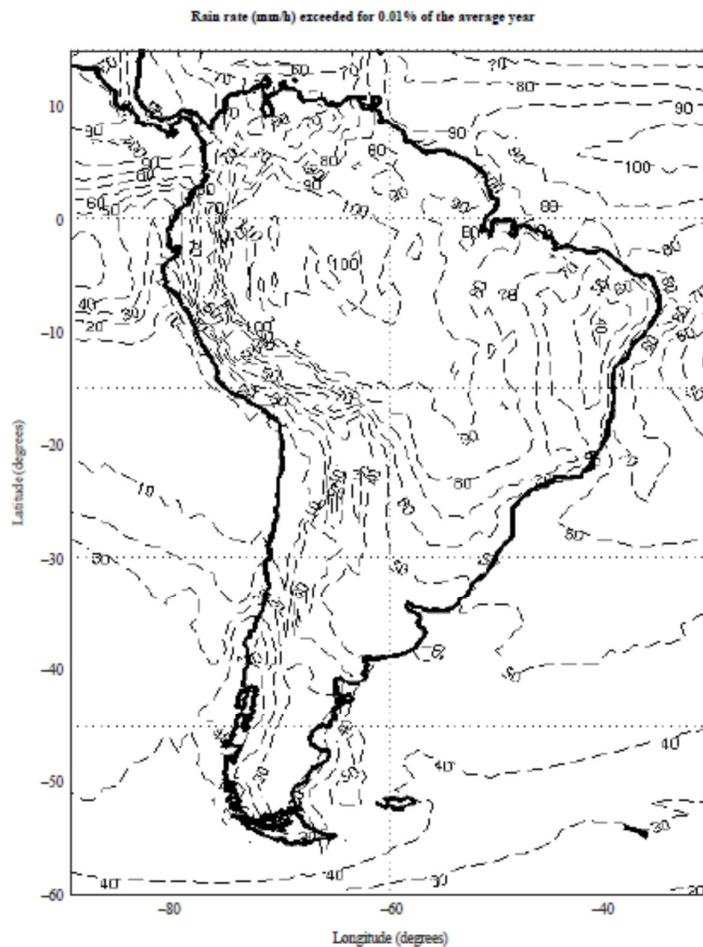


Figura 3.4. Valores de intensidad de lluvia para Sudamérica [13]

Dado que la polarización es lineal, nos hemos basado en la tabla 5 de la Recomendación UIT-R P.838-3 que facilita los coeficientes k y α para calcular la atenuación específica utilizando la ecuación (3.1). Fue necesario interpolar estos coeficientes para la frecuencia central escogida.

De esta manera tenemos para $k = 0.0005796$ y $\alpha = 1.5632$, una atenuación específica de 0.444 dB/km.

Para conseguir un estimado de la atenuación del camino excedida por un 0.01% del tiempo nos referenciamos a la Recomendación UIT-R P.530-16, donde tenemos la ecuación (3.2):

$$A_{0.01} = \gamma_R \cdot d_{eff} = \gamma_R \cdot d \cdot r \quad dB \quad (3.2) \text{ [14, eq. (33)]}$$

siendo d_{eff} la distancia efectiva del enlace igual a la multiplicación de la distancia actual d por un factor de distancia r dado por:

$$r = \frac{1}{0.477d^{0.633} R_{0.01}^{0.073-\alpha} f^{0.123} - 10.579(1 - \exp(-0.024d))} \quad (3.3) \text{ [14, eq. (32)]}$$

donde f (Ghz) es la frecuencia y α es el exponente de la ecuación (1) de la atenuación específica.

De esta manera, el enlace con la distancia más larga entre transmisores tendrá la mayor atenuación de camino excedida por un 0.01% del tiempo. En este caso el enlace CA – Rec6 con una distancia de 71.3km tiene una atenuación de $A_{0.01} = 5.51$ dB, valor que se consideró en el parámetro de pérdidas de línea del sistema Punto a Punto al cual se hace referencia en el apartado 3.5.4.

3.5.1.2 Polarización

La polarización utilizada es vertical ya que es menos afectada por las reflexiones en el camino de transmisión que la

horizontal. Con la polarización horizontal dichas reflexiones provocan variaciones en la intensidad de la señal recibida [15].

3.5.1.3 Modo estadístico

Se han tomado las mismas consideraciones que para las redes FM, se escogió el modo Difusión aplicable para unidades estacionarias con porcentajes de variabilidad de 90% del tiempo, 90% de localización y 80% por situación.

3.5.1.4 Tipo de clima

Se utiliza el mismo tipo de clima Ecuatorial.

3.5.2 Topología

Se seleccionó la opción Red de Voz (Comando/Subordinado/Retransmisor) dado que representa de mejor manera la operación de los enlaces microondas, estableciendo comunicación entre los transmisores principales y los receptores / retransmisores. Se prefirió esta opción dado que es la única que contempla la retransmisión dentro de sus características.

3.5.3 Sistema transmisor: Unidades y parámetros

El sistema transmisor está compuesto por una unidad central llamada CA configurada mediante el programa como estación Comando, la cual se enlazó con seis unidades. La configuración de la conexión descrita y de todos los enlaces de la red microondas se pueden observar en la figura 3.4.

3.5.4 Sistema receptor/repetidor: Unidades y parámetros

El sistema repetidor está compuesto por seis unidades: REP1, REP1.1, REP1.1.1, REP2, REP3 y REP4; mientras que el sistema receptor por ocho unidades: Rec1, Rec1.1.1, Rec2.1, Rec2.2, Rec3, Rec4, Rec5 y Rec6.

En Radiomobile se define el estado de Retransmisora o Subordinada para diferenciar los repetidores de los sólo receptores.

Para los enlaces microondas se ha definido el sistema que se muestra en la tabla 6:

Nombre	Potencia de transmisión (W)	Umbral de recepción (uV)	Pérdidas de Línea (dB)	Tipo de antena	Ganancia de antena (dBi)	Altura de antena (m)
Punto a punto	1	7.0795	5.513	parabólica	34.5	15

Tabla 6. Sistema Punto a Punto para enlaces microondas [16] [17] [18] [19]

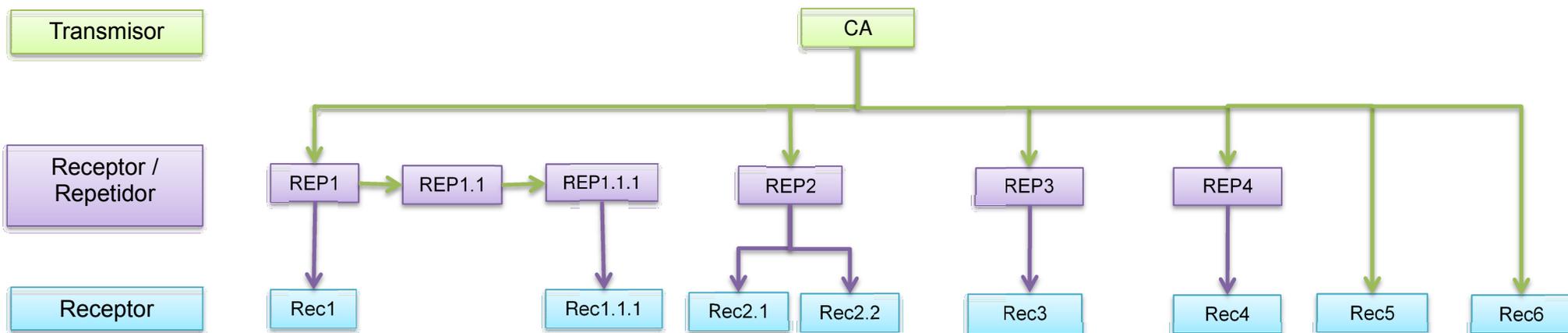


Figura 3.5. Esquema de enlaces microondas entre unidades

CAPÍTULO 4

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Análisis de los Enlaces Microondas

Radiomobile cuenta con una herramienta llamada Radio Enlace que permite observar gráficamente el perfil del enlace entre dos estaciones en dos lugares distintos y además visualizar los valores de propagación característicos del enlace.

La figura 4.1 representa los resultados obtenidos al analizar el radioenlace entre el transmisor CA y el repetidor REP1 para una frecuencia de 6098MHz entre dos antenas tipo parabólicas. La interfaz gráfica de Radiomobile asigna un color verde al gráfico de los enlaces cuando el enlace funciona para el sistema creado.

La distancia de este enlace fue de 57.33km, las pérdidas de espacio libre 143.3dB, la peor zona Fresnel fue 8.8F1 y el nivel de Rx fue 42.83 μ V. Este valor del nivel de Rx (potencia recibida) permite conocer el valor de margen respecto de la sensibilidad del sistema receptor, usado para calcular el Rx relativo que representa la relación señal al ruido.

En este enlace en particular, el Rx relativo de 15.6dB es el resultado de la diferencia entre el nivel de Rx obtenido de $42.83\mu\text{V}$ (-74.4dBm) y el nivel mínimo de recepción configurado en el sistema Punto a Punto de $7.0795\mu\text{V}$ (-90dBm). Con este valor positivo aseguramos un buen enlace entre transmisor y receptor.

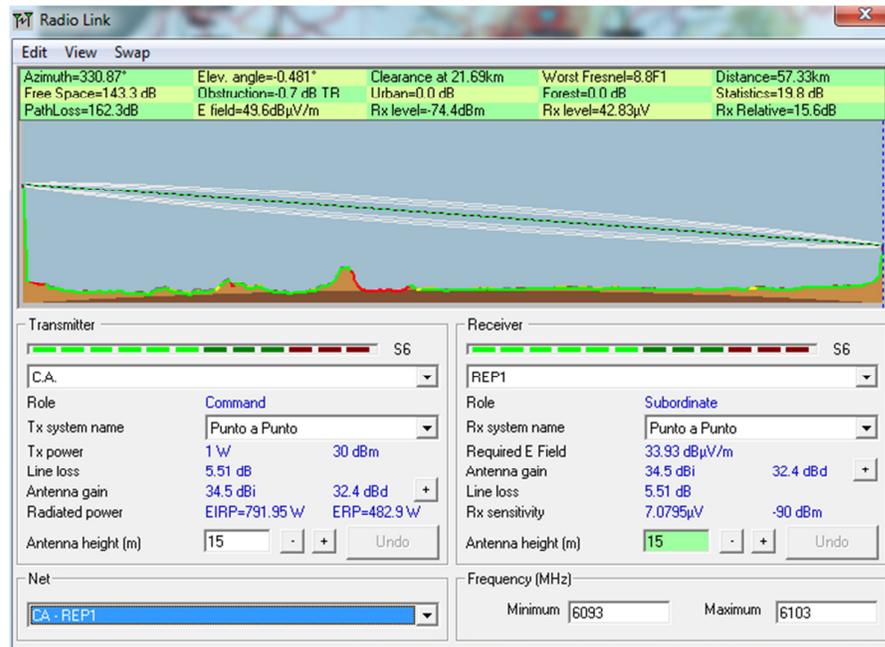


Figura 4.1. Herramienta Radio Enlace para enlace CA – Rep1

Para los enlaces restantes de CA con los demás receptores tenemos la tabla 7:

Repetidor	Repetidor / receptor	Distancia del enlace (km)	Pérdidas de espacio libre (dB)	Peor zona Fresnel	Nivel de Rx (μV)	Rx relativo (dB)
CA	REP2	41.72	140.5	22.4F1	50.6	17.1
	REP3	51.79	142.4	9.5F1	40.36	15.1
	REP4	33.46	138.6	16.3F1	121.58	24.7
	Rec5	54.13	142.8	6.6F1	64.19	19.1
	Rec6	71.30	145.2	2.7F1	33.63	20.1

Tabla 7. Valores de propagación de los enlaces de CA

Los demás enlaces microondas se detallan en la tabla 8 y los resultados gráficos obtenidos con la herramienta Radio Enlace se pueden observar en el Anexo A.

Repetidor	Repetidor / receptor	Distancia del enlace (km)	Pérdidas de espacio libre (dB)	Peor zona Fresnel	Nivel de Rx (μ V)	Rx relativo (dB)
REP1	Rec1	40.53	140.3	0.9F1	87.66	21.9
	REP1.1	64.65	144.3	1.0F1	54.11	17.7
REP1.1	REP1.1.1	20.44	134.3	1.3F1	84.06	21.5
REP1.1.1	Rec1.1.1	16.70	132.6	0.7F1	175.22	27.9
REP2	Rec2.1	38.69	139.9	12.4F1	59.53	18.5
	Rec2.2	43.09	140.8	4.6F1	58.97	18.4
REP3	Rec3	34.82	138.9	3.7F1	82.92	21.4
REP4	Rec4	27.48	136.9	3.1F1	33.66	13.5

Tabla 8. Valores de propagación de los enlaces microondas propuestos

A partir de estos valores se puede analizar el parámetro Peor zona Fresnel. Todos los enlaces microondas aseguran línea de vista dado que tienen un despeje de al menos el 60% de la primera zona Fresnel F1; por lo que no incurren en pérdidas por difracción que reduzcan la señal recibida [20].

De igual manera, los valores de Rx relativo son positivos ya que el Nivel de Rx recibido es mayor que el nivel mínimo de recepción configurado en el sistema Punto a Punto.

4.2 Análisis del Área de Cobertura

Para analizar la cobertura de la red FM propuesta, se hizo uso de la herramienta de Radiomobile llamada Cobertura de Radio Cartesiana Combinada, la cual permite calcular el área de cobertura de una o varias estaciones y permite representar los niveles de señal en el mapa.

Para este propósito se revisó la Norma Técnica Actualizada RESOLUCIÓN-RTV-973-29-CONATEL-2014 [21] que indica que para Estaciones Estereofónicas de potencia normal y locales, los valores de Intensidad de Campo Mínima a proteger son:

- i. En el borde del área de cobertura principal $\geq 54\text{dB}\mu\text{V/m}$
- ii. En el borde del área de cobertura secundaria $\geq 50\text{dB}\mu\text{V/m}$ y $<$ a $54\text{dB}\mu\text{V/m}$,

entendiéndose por área de cobertura principal la que corresponde a las ciudades o poblaciones a servir y el área de cobertura secundaria o de protección la que corresponde a los alrededores de las ciudades señaladas como área de cobertura principal.

En la figura 4.5 se puede observar la herramienta usada y los colores asignados para una mejor visualización del área de cobertura y de los niveles de señal de la red FM.

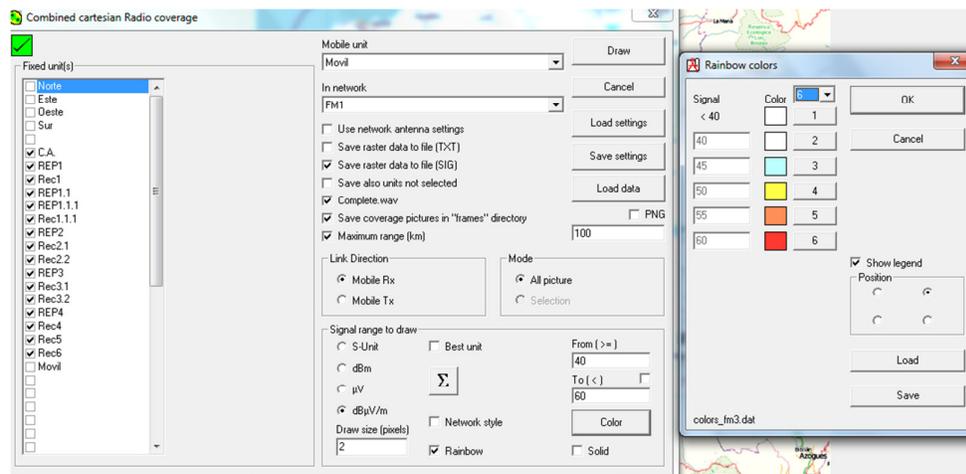


Figura 4.2. Herramienta Cobertura de Radio Cartesiana Combinada para red FM

Al ejecutar esta opción el resultado de la cobertura de la red FM se muestra en la figura 4.6 a continuación:

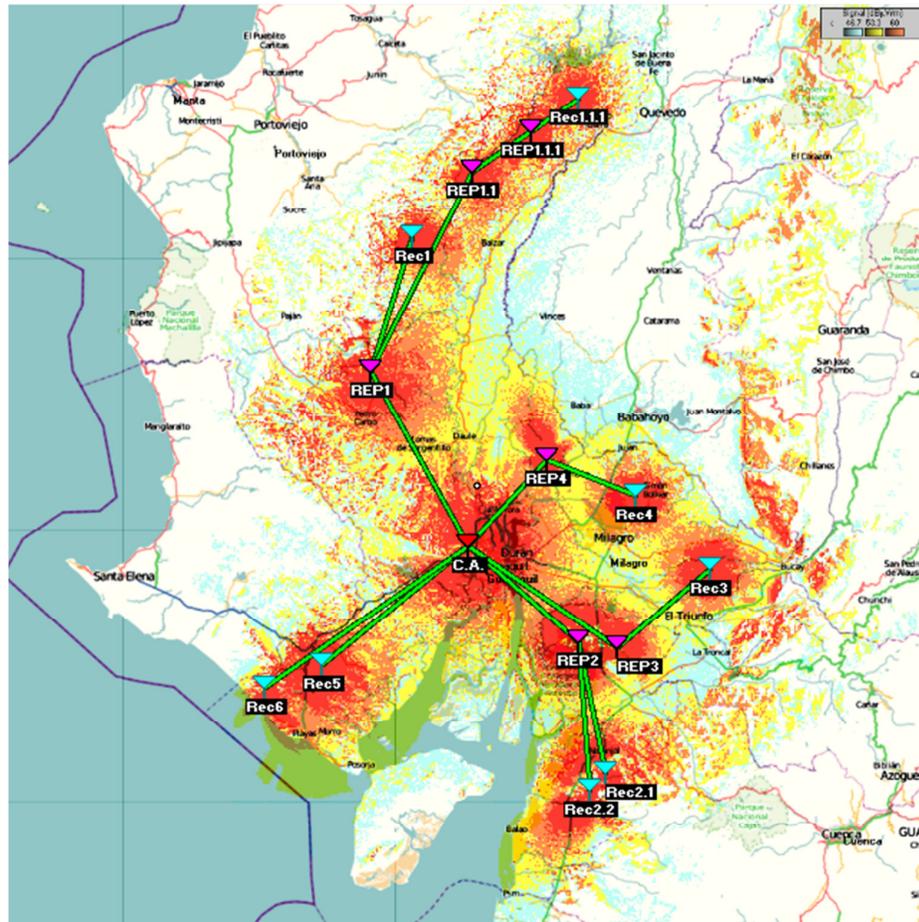


Figura 4.3. Cobertura de la red FM en la provincia del Guayas

En el mapa se observa los resultados de la simulación representado a través de colores configurados para la escala de valores de acuerdo a la intensidad de la señal en $\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$.

Para cada tipo de antena de cada transmisor FM, el programa muestra su patrón de propagación correspondiente, en base a los cuales se escogió el más apropiado de acuerdo a la necesidad de cobertura de un área específica.

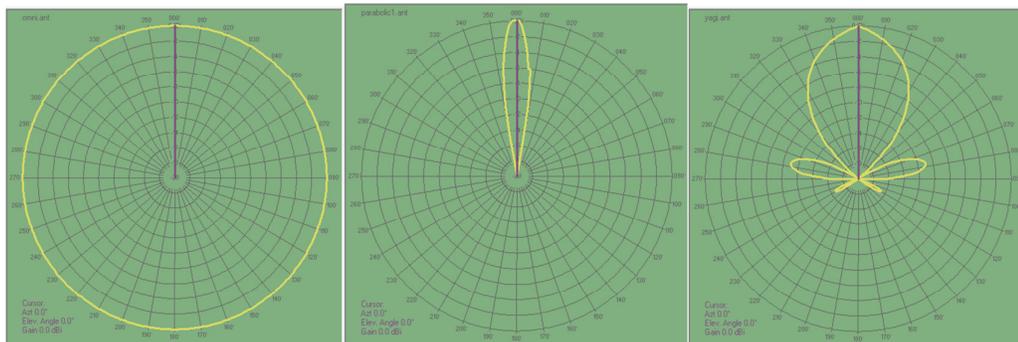


Figura 4.4. Patrones de antenas omnidireccional, parabólica y yagi

La topografía irregular de la provincia del Guayas con elevaciones pronunciadas, en algunos casos limitaba el servicio a un área mayor que la deseada, entonces fue necesario reemplazar el transmisor inicial por más transmisores de menor potencia. Principalmente sucedió en la zona oeste de la provincia (cantón Playas), en el área de la Reserva Ecológica Churute (cantón Naranjal) y en la parte sur de Naranjal.

La opción paralela para solucionar este problema pudiera haber sido aumentar la potencia del transmisor inicial pero se incurría en la limitante de rebasar los bordes del área de la provincia y no cumplir así con las normas técnicas locales determinadas por los entes de regulación y control, para con ello proteger el bienestar de la comunidad y buen uso del espectro radioeléctrico.

Fue necesario tener en cuenta la ubicación propuesta de las antenas, la accesibilidad de los sitios, la existencia de equipos previamente instalados y la disponibilidad de los sitios para evitar zonas restringidas como las reservas ecológicas.

La figura 4.5 muestra la cobertura de red exportado a Google Earth para tener otro medio de apreciación del área servida por la señal FM.

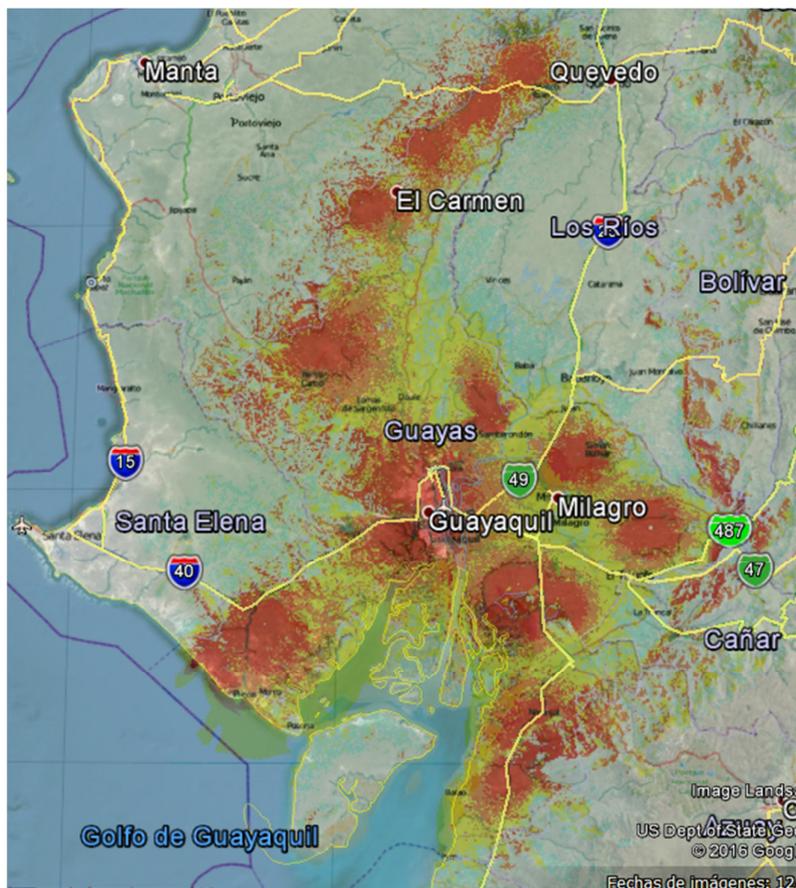


Figura 4.5. Cobertura de la red FM mostrada en el programa Google Earth

El Anexo B muestra un análisis económico para evaluar la rentabilidad de un proyecto de inversión de puesta en marcha del diseño propuesto de la red de radio comercial FM y los enlaces microondas.

A partir de aproximaciones de los costos de equipos, antenas, torres, obra civil, proyecto eléctrico e instalación, y considerando ingreso referenciales de las radio operadoras en base al costo por espacios publicitarios de tiempo al aire, para un flujo de caja de cinco años se obtuvo los indicadores VAN de \$779,286 y TIR de 36.69%.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Las principales conclusiones alcanzadas son las siguientes:

1. El programa Radiomobile permitió el diseño de una red de radio comercial FM para la provincia del Guayas, haciendo uso de mapas de elevación topográficos.
2. La conexión de los transmisores FM se logró por medio de enlaces microondas entre estaciones repetidoras y receptoras en la frecuencia de 6098MHz.
3. Para el diseño de los enlaces microondas se consideró los lineamientos indicados en las Recomendaciones UIT que incluyen las pérdidas por atenuación por lluvia para analizar el desempeño de dichos enlaces.
4. Destacamos en ambos diseños, tanto para la red FM como para los enlaces microondas, el uso de valores de referencia de los parámetros en equipos reales obtenidos de hojas de especificaciones para la configuración de los sistemas en el programa Radiomobile.

Recomendaciones

Para diseños con el programa Radiomobile se puede recomendar que:

1. Que a pesar de que Radiomobile hace uso de mapas de elevaciones SRTM, las coordenadas geográficas correspondientes a la ubicación de los transmisores propuestos se verifiquen utilizando Google Earth para comprobar que dicha ubicación corresponda a las elevaciones más pronunciadas o deseadas dentro del área de estudio.
2. En los casos en que las coordenadas provistas por los mapas no coincidan con la elevación escogida, se proceda a corregir la altura de dicha estación en base al dato reportado por Google Earth.
3. En el proceso de diseñar los enlaces microondas para la ubicación de antenas, se recomienda asegurar línea de vista entre los receptores y el despeje de al

menos el 60% de la primera zona Fresnel F1. Considerar reubicar las unidades o recibir la señal microondas de otro repetidor cercano.

4. Como línea de ampliación a este estudio se sugiere incluir datos a largo plazo locales del índice de pluviosidad de la zona de estudio para ser considerados en el diseño de los enlaces microondas.
5. Además se puede considerar como un aporte futuro a este diseño, analizar las interferencias con otras redes presentes que trabajen en el área para la frecuencia de los enlaces microondas sugeridos.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Brown, I., Radio móvil Manual acompañante. Disponible en: <http://www.antennex.com/Sshack/radmob/radmob-es.htm>, 2012.
- [2] 3DNature, SRTMFill Tool. Disponible en: <http://3dnature.com/srtmfill.html>, 2003.
- [3] Hufford, G., Longley A. y Kissick W., "A guide to use of the ITS Irregular Terrain Model in the area prediction mode", US Department of Commerce, Estados Unidos, 1982.
- [4] Longley, A., Rice, P., "Prediction of Tropospheric Radio Transmission Loss over Irregular Terrain: A Computer Method", US Department of Commerce, Estados Unidos, 1968.
- [5] García, S, "Manual para Radiomovil para Windows: Simulador de propagación de estaciones de radio y cartas virtuales", El Salvador, 2013.
- [6] ARCOTEL, "Plan Nacional de Frecuencias". Disponible en: http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/07/plan_nacional_frecuencias_2012.pdf, 2012.
- [7] Planeta Saber en Gran Enciclopedia Planeta, "Clima, condiciones atmosféricas de un lugar". Disponible en: <http://www.planetasaber.com/theworld/gats/article/default.asp?pk=793&art=59>, s.f.
- [8] Jampro, "Low Power FM Antenna Systems". Disponible en: http://www.jampro.com/uploads/product_pdf/fm/sidemount/Low%20Power%20FM%20Antenna%20Systems.pdf, 2016.
- [9] Kathrein, "Yagi Antenna Polarization". Disponible en: <https://www.kathreinusa.com/wp-content/uploads/2016/02/775838.pdf>, 2015.
- [10] Kathrein. "Omnidirectional Antenna". Disponible en: <https://www.kathreinusa.com/wp-content/uploads/2015/09/FMO-75N.pdf>, 2015.

- [11] Plan Nacional de Frecuencias Arcotel, "Consulta por Rango 6000-7000MHz", Ecuador. Disponible en: <http://www.arcotel.gob.ec/consulta-plan-nacional-de-frecuencias/>, 2012.
- [12] ITU, "Recomendación P.838-3: Modelo de la atenuación específica debida a la lluvia para los métodos de predicción". Disponible en: <https://www.itu.int/rec/R-REC-P.838-3-200503-l/es>, 2005.
- [13] ITU, "Recomendación P.837-6: Características de precipitación para modelación de propagación". Disponible en: <https://www.itu.int/rec/R-REC-P.837-6-201202-l/es>, 2012.
- [14] ITU, "Recomendación P.530-16: Datos de propagación y métodos de predicción requeridos para el diseño de sistemas terrestres con línea de vista". Disponible en: <https://www.itu.int/rec/R-REC-P.530/es>, 2015.
- [15] WNDW, "The Wireless Networking in the developing World Project, A practical guide to planning and building low-cost telecommunications infrastructure". Disponible en: <http://wndw.net/book.html>, 2013.
- [16] Trango Systems, "TrangoLink Giga 6Ghz: High-Capacity Point-to-Point Wireless Network Link". Disponible en: <https://www.trangosys.com/wp-content/uploads/support/documents/datasheets/DS-9020-F-TrangoLINK-Giga-6.pdf>, 2008.
- [17] Cambium Networks, "PTP800 Licensed Microwave". Disponible en: <http://www.cambiumnetworks.com/products/backhaul/ptp-800/>, 2011.
- [18] Radio Frequency Systems, "GM3 FM Yagi Antenna GM Series". Disponible en: <http://www.rfsworld.com/>, 2015.
- [19] Bridge Wave, "Etherflex 6-38Ghz All-Outdoor Microwave Point-to-Point Wireless Links". Disponible en: <http://www.bridgewave.com/products/etherflex.cfm>, 2014.
- [20] Freeman, R., "Radio System Design for Telecommunications", IEEE, 2007.

[21] ARCOTEL, “Norma Técnica para el servicio de Radiodifusión Sonora en Frecuencia Modulada, RESOLUCIÓN-RTV-973-29-CONATEL-2014”, Ecuador. Disponible en: <http://www.arcotel.gob.ec/comunicamos/norma->

[tecnicaparaelserviciode-radiodifusion-sonora-en-frecuencia-modulada/](http://www.arcotel.gob.ec/comunicamos/norma-), 2014.

ANEXO A

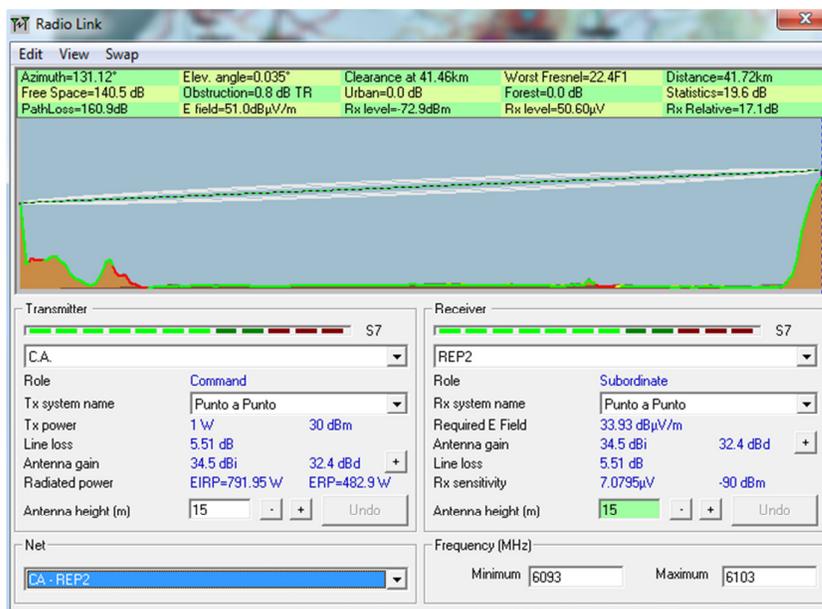


Figura A.1. Enlace CA – REP2

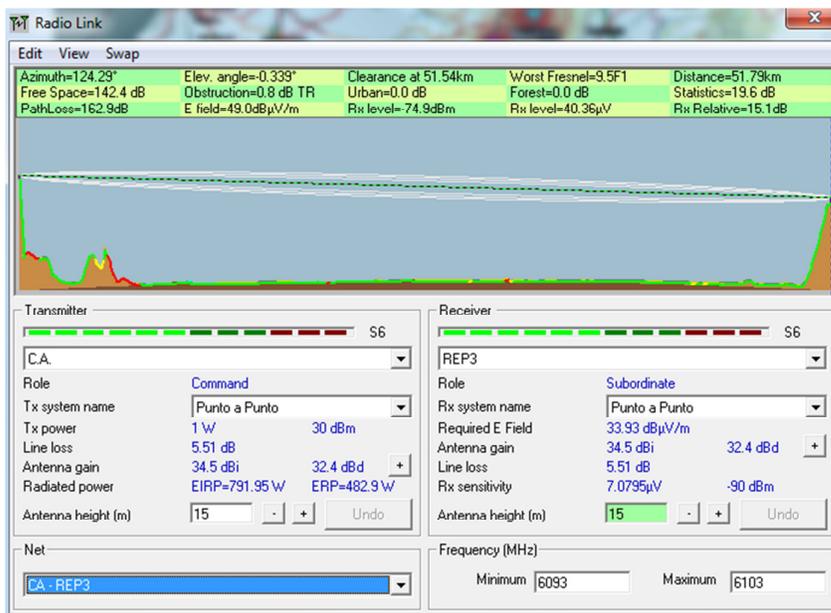


Figura A.2. Enlace CA – REP3

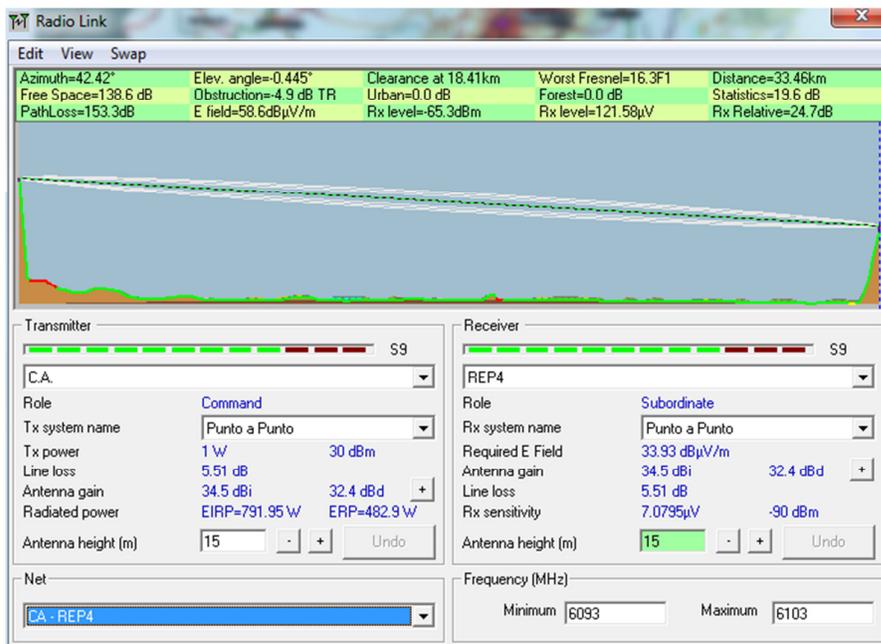


Figura A.3. Enlace CA – REP4

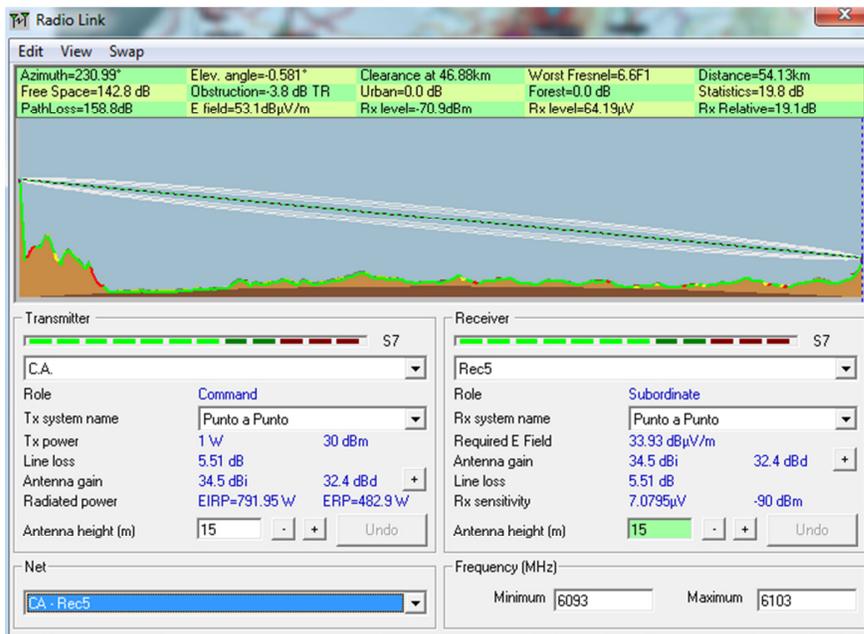


Figura A.4. Enlace CA – Rec5

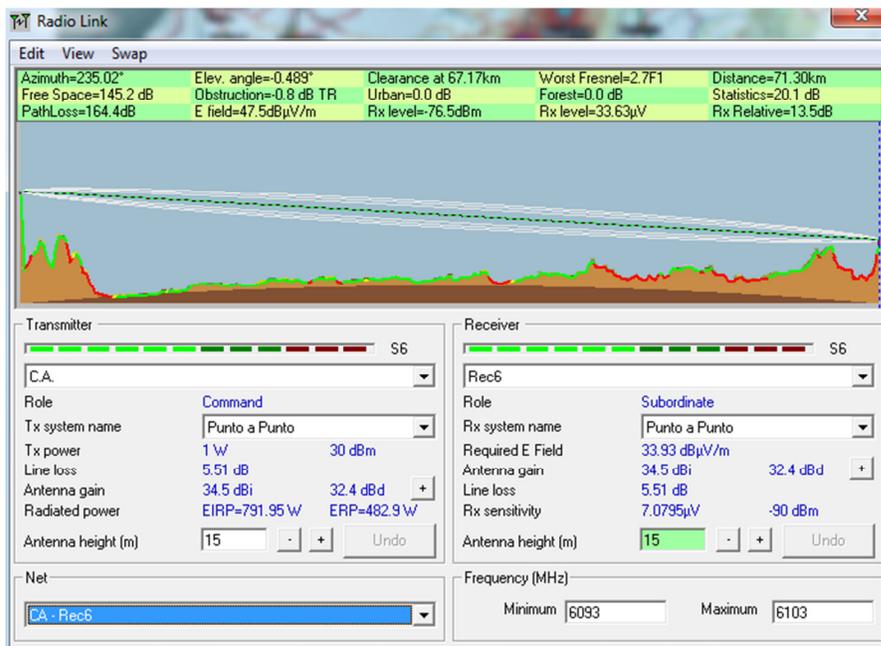


Figura A.5. Enlace CA – Rec6

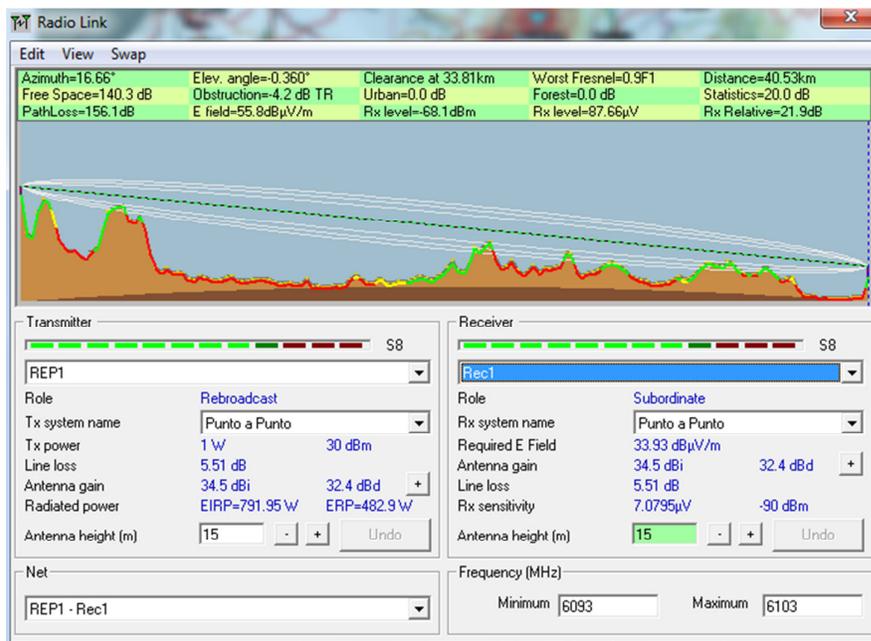


Figura A.6. Enlace REP1 – Rec1

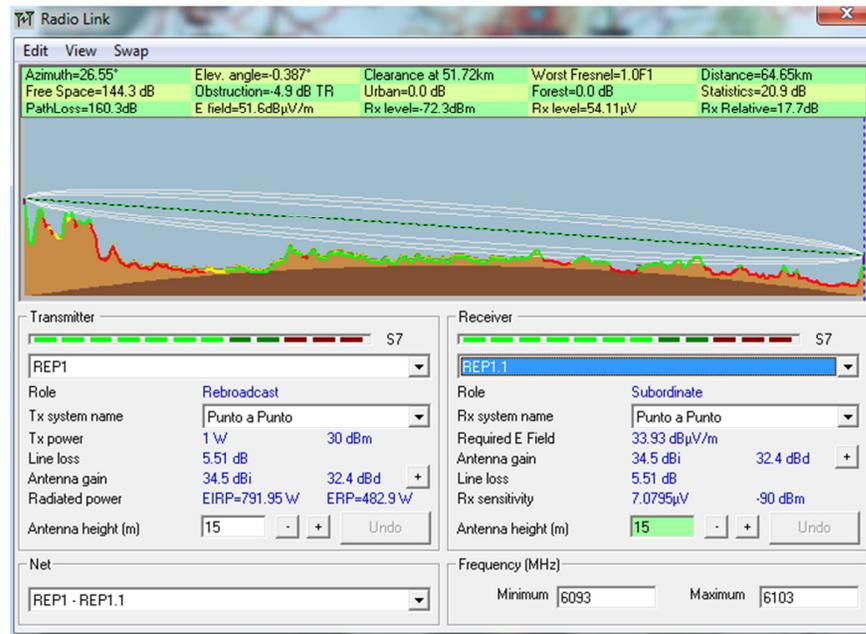


Figura A.7. Enlace REP1 – REP1.1

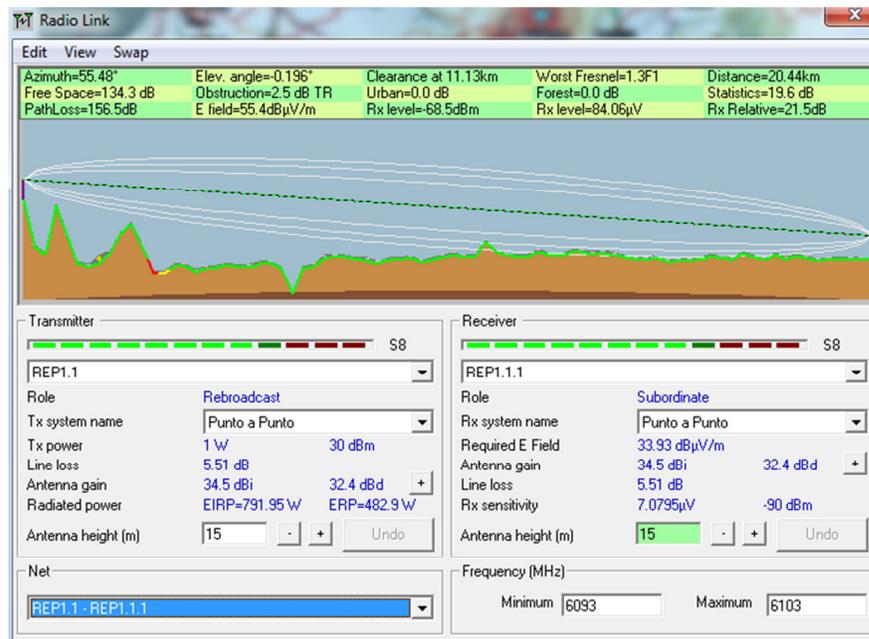


Figura A.8. Enlace REP1.1 – REP1.1.1

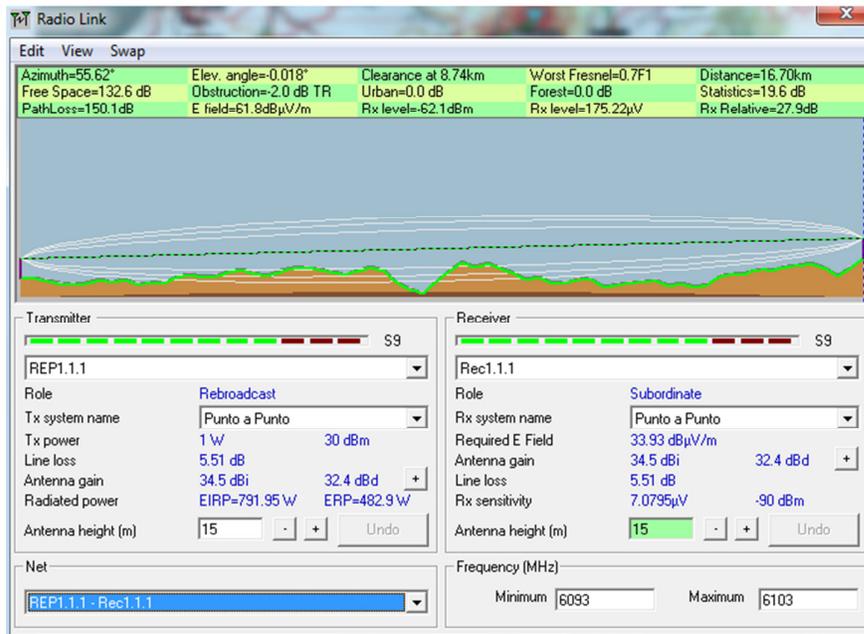


Figura A.9. Enlace REP1.1.1 – Rec1.1.1

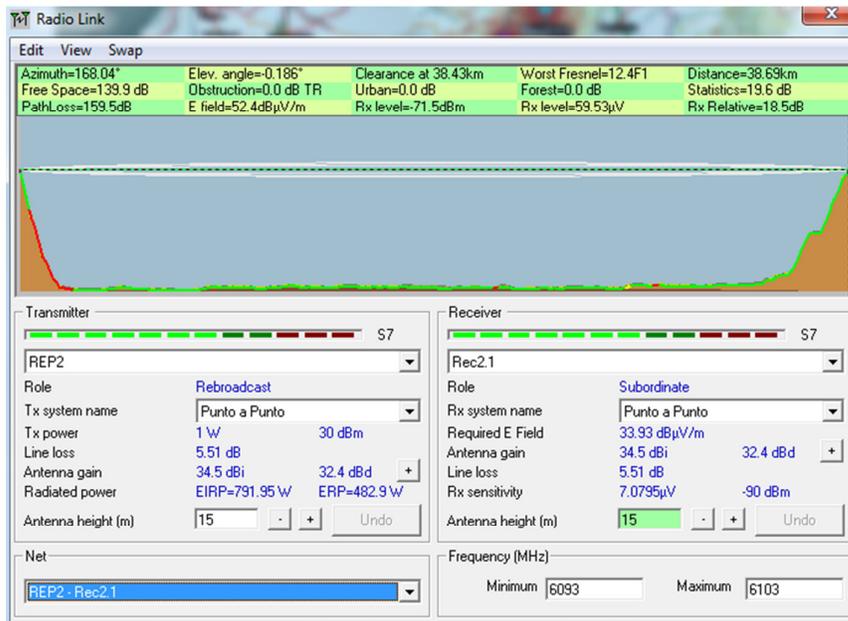


Figura A.10. Enlace REP2 – Rec2.1

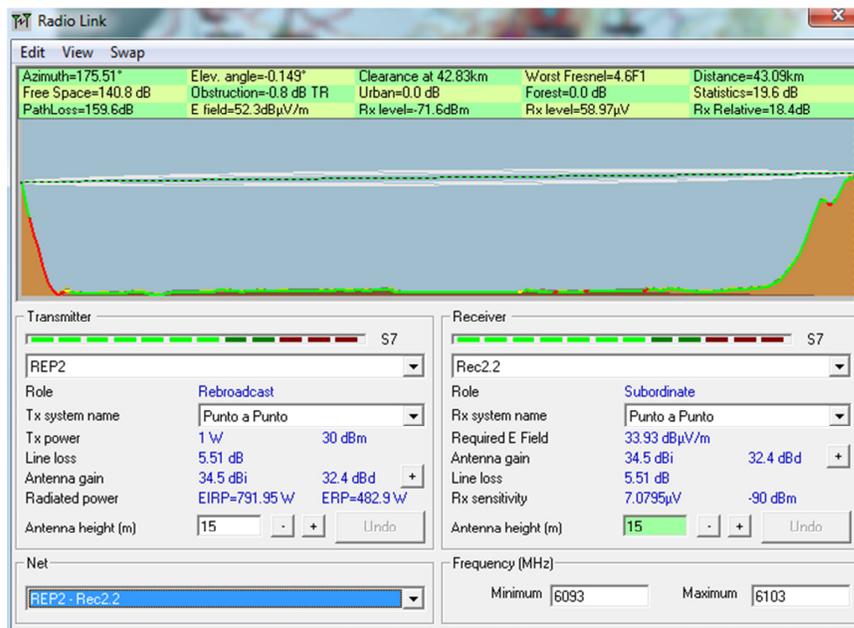


Figura A.11. Enlace REP2 – Rec2.2

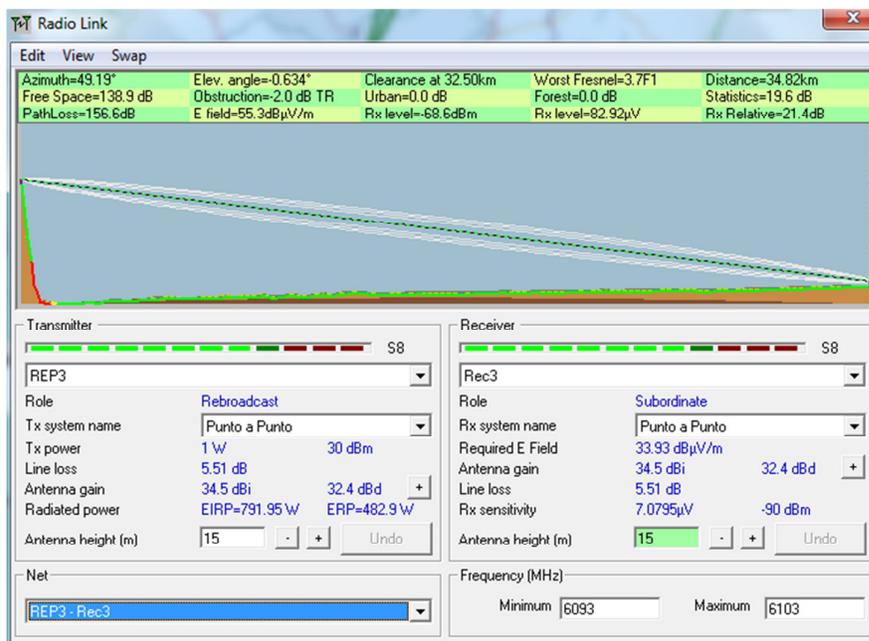


Figura A.12. Enlace REP3 – Rec3

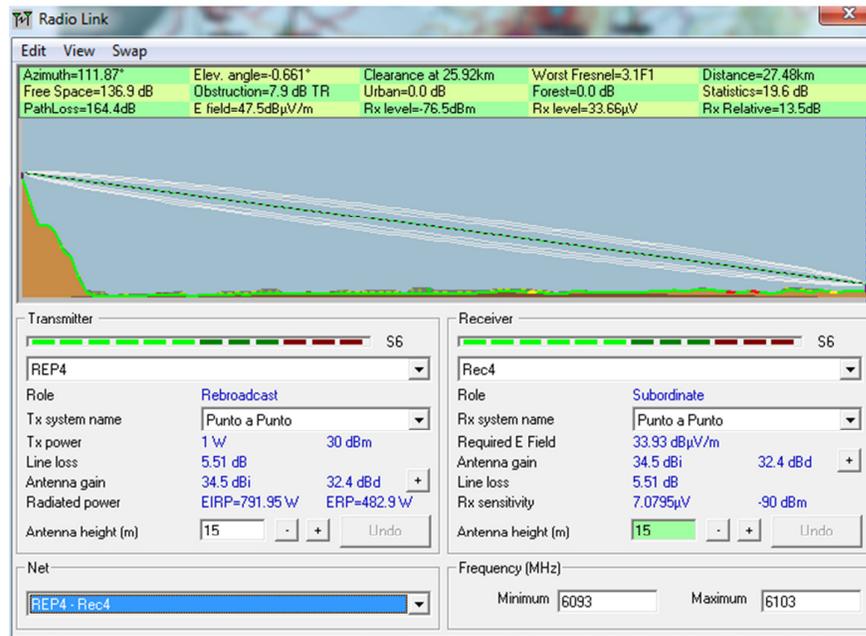


Figura A.13. Enlace REP4 – Rec4

