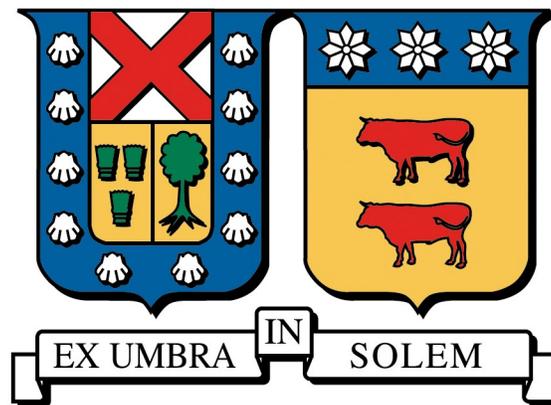


UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA  
MARIA

DEPARTAMENTO DE ELECTRONICA

CAMPUS VITACURA – CHILE



“EVALUACION DE COBERTURA DE SISTEMA  
REPETIDOR DE RADIOCOMUNICACIONES VHF”

CRISTIAN TRONCOSO VÁSQUEZ

TESINA PARA OPTAR AL DIPLOMADO EN REDES Y TELECOMUNICACIONES

PROFESOR GUIA: Dr. WALTER GROTE

MARZO 2013

# **EVALUACION DE COBERTURA DE SISTEMA REPETIDOR DE RADIOCOMUNICACIONES VHF**

**CRISTIAN TRONCOSO VÁSQUEZ**

TESINA PARA OPTAR AL DIPLOMADO EN REDES Y TELECOMUNICACIONES

**Universidad Técnica Federico Santa María**

PROFESOR GUIA: Dr. WALTER GROTE

MARZO 2013

## **Resumen**

Al momento de proyectar la instalación de un repetidor de radiocomunicaciones, es fundamental la correcta elección del lugar donde se va a instalar. Varios factores determinan el lugar de instalación; como es tener un acceso expedito para facilitar los trabajos y futuras mantenciones, contar con energía eléctrica permanente, protección perimetral para evitar robos etc, pero dentro de los factores a considerar, uno de los más críticos corresponde si el lugar donde se va a emplazar esta instalación permite o no cumplir con las necesidades de cobertura de radio para los futuros usuarios. En la práctica esto se reduce a explorar una cantidad reducida de lugares que cumplen con estos requisitos.

De ahí nace la importancia de poder simular mediante software la proyección de cobertura de los sistemas repetidores, y así realizar la elección más idónea del lugar a instalar la costosa infraestructura necesaria para el funcionamiento del sistema, y que éste logre efectivamente cubrir las necesidades proyectadas.

El presente proyecto trata de comprobar cuan buena es la proyección lograda con un software de simulación, respecto de mediciones experimentales realizadas en una serie de puntos predeterminados.

**Palabras claves:** Repetidor de radiocomunicaciones, Evaluación de cobertura, Mediciones de radiofrecuencia.

# Índice de Contenido

Resumen.....	2
Capitulo 1.....	4
Introducción.....	5
1.1 Problemática y Objetivo.....	6
1.2 Estado del Arte.....	6
1.3 Equipamiento a Utilizar.....	9
1.4 Programa de Simulación.....	11
Capitulo 2.....	11
Determinación de Cobertura Mediante Programa de Simulación.....	12
2.1 Descripción del Programa.....	12
2.2 Modelo de Propagación Longley-Rice.....	12
2.2.1 Parámetros comunes con respecto a otros modelos de propagación:.....	12
2.2.2 Parámetros específicos del modelo:.....	12
2.3 Uso e Ingreso de datos en Radiomobile.....	13
2.3.1 Prerrequisitos:.....	13
2.4 Análisis del posible uso de una antena directiva en el Repetidor.....	16
2.5 Determinación de los puntos de Validación.....	17
Capitulo 3.....	17
Campaña de Mediciones.....	18
3.1 Objetivo.....	18
3.2 Planificación de la ruta.....	18
3.3 Lugares de medición.....	18
3.4 La Fuente de Señal.....	18
3.5 Equipamiento.....	20
3.6 Procedimiento de medición.....	21
Capitulo 4.....	24
Resultado de las Mediciones.....	24
4.1 Objetivo.....	24
4.1.1 Punto Comuna de Algarrobo.....	24
4.1.2 Punto Comuna de El Quisco.....	25
4.1.3 Punto Comuna El Tabo.....	25
4.1.4 Punto Sector Las Cruces.....	26
4.1.5 Punto Comuna de Cartagena.....	26
4.1.6 Punto Comuna de Santo Domingo.....	27
4.1.7 Punto Localidad de Rapel.....	27
4.1.9 Punto Comuna de Pichilemu.....	28
Capitulo 5.....	29
Contrastación de Resultados.....	29
5.1 Objetivo.....	29
5.2 Tabla Comparativa.....	29
5.3 Análisis de resultados.....	30
5.4 Comparativa con software Path Loss.....	31
5.5 Conclusiones.....	33
5.5 Referencias Bibliográficas.....	35

## Índice de Figuras

Ilustración 1: Equipos de medición utilizados en el transmisor .....	10
Ilustración 2: Mapa georeferenciado y matriz de elevación.....	14
Ilustración 3: Ingreso de Coordenadas.....	14
Ilustración 4: Ingreso de datos; equipos y antenas.....	15
Ilustración 5: Diagrama de cobertura del repetidor.....	15
Ilustración 6: Ejemplo de perfil de enlace.....	16
Ilustración 7: Mapa de puntos de medición.....	18
Ilustración 8: Sitio de repetición y antena del sistema.....	19
Ilustración 9: Equipo repetidor.....	20
Ilustración 10: Antena emisora.....	20
Ilustración 11: Equipos utilizados en el procedimiento de medición.....	21
Ilustración 12: Esquema de medición.....	21
Ilustración 13: Mediciones sector Algarrobo.....	22
Ilustración 14: Mediciones sector El Tabo.....	22
Ilustración 15: Mediciones sector Rocas de Santo Domingo.....	23
Ilustración 16: Mediciones sector Punta de Lobos, Pichilemu.....	23
Ilustración 17: Punto Algarrobo.....	24
Ilustración 18: Punto El Quisco.....	25
Ilustración 19: Punto El Tabo.....	25
Ilustración 20: Punto Las Cruces.....	26
Ilustración 21: Punto Cartagena .....	26
Ilustración 22: Punto Santo Domingo.....	27
Ilustración 23: Punto Rapel.....	27
Ilustración 24: Sector Pichilemu.....	28
Ilustración 25: Perfil enlace con software Radiomobile.....	32
Ilustración 26: Perfil de enlace con PathLoss 4.0.....	32
Ilustración 27: Resumen perfil de enlace.....	33

## Índice de Tablas

Tabla 1: Datos relevantes del transmisor.....	19
Tabla 2: Mediciones Algarrobo.....	24
Tabla 3: Mediciones El Quisco.....	25
Tabla 4: Mediciones El Tabo.....	25
Tabla 5: Mediciones Las Cruces.....	26
Tabla 6: Mediciones Cartagena.....	26
Tabla 7: Mediciones Santo Domingo.....	27
Tabla 8: Mediciones Rapel.....	27
Tabla 9: Mediciones Pichilemu.....	28
Tabla 10: Comparativa de valores.....	29

## Capítulo 1

### **Introducción**

La instalación de un repetidor de radiocomunicaciones involucra una demanda de recursos importantes; recursos económicos para costear la infraestructura a instalar, recursos humanos para desarrollar la planificación de los trabajos a realizar y la implementación del sistema, trámites para la solicitud de uso del espectro radioeléctrico ante SUBTEL, solicitudes de permisos y pago de arriendo de los lugares físicos a instalar etc. Cuando a esta problemática, se suma que el repetidor va a ser utilizado para la experimentación científica de un grupo de personas sin ánimos de lucro, y que además se va a utilizar para proveer de comunicaciones cuando los servicios públicos se vean saturados o simplemente caídos producto de eventos naturales, no se puede correr el riesgo de una mala elección del lugar a ser instalado.

Lo anterior describe la importancia de simular mediante software la proyección de cobertura de un futuro repetidor, y una vez instalado, la comprobación empírica de los valores de potencia que debiesen obtenerse por el sistema, pudiendo así comprobarse si lo proyectado por el software se ajusta o no a la realidad.

Este proyecto se enmarca en las mediciones a realizar a un repetidor que pertenece a una organización; el Radio Club Aeronáutico, cuyo indicativo es CE3RAC. El Radio Club Aeronáutico es una organización que agrupa una veintena de personas cuyo hobby es la radioafición. La radioafición es una actividad realizada por un grupo de personas que dedican su tiempo libre a la intercomunicación radial y la experimentación técnica y científica, las cuales se realizan a título personal y sin fines de lucro. Estas personas realizan estas actividades amparadas por el Reglamento del Servicio de Aficionados a las Radiocomunicaciones, decreto ley 523, fechado el 21 de enero del 2007 de la Subsecretaría de Telecomunicaciones, y son llamados Aficionados a las Radiocomunicaciones, o simplemente Radioaficionados.

Los Radioaficionados se pueden agrupar en Círculos de Radioaficionados, o en Radio Clubes. Estos últimos se distinguen de los primeros, por poseer personalidad jurídica. Los Radioclubes están autorizados a instalar sistemas de repetición de radiocomunicaciones, llamados Repetidores, los cuales

logran extender el área de cobertura de un equipo portátil, o una estación móvil o base, permitiendo así lograr comunicaciones de grandes áreas geográficas, con equipos relativamente simples. Estos repetidores toman una gran relevancia cuando, por ejemplo, a raíz de alguna catástrofe los sistemas de comunicaciones comerciales, como la telefonía celular colapsa o no permiten una comunicación expedita y fiable.

## **1.1 Problemática y Objetivo**

En general la instalación de un sistema repetidor de radiocomunicaciones VHF es un proyecto costoso, más aún si se considera que en este caso en particular toda la infraestructura instalada es subvencionada por los mismos radioaficionados, los cuales realizan actividades experimentales sin fines de lucro. Este esfuerzo económico y de tiempo invertido, es recompensado cuando el sistema repetidor logra cubrir las zonas previstas, según las necesidades iniciales planteadas por los radioaficionados, pero no siempre ocurre así.

Una vez en funcionamiento el repetidor, su cobertura es evaluada por distintos radioaficionados, en distintas condiciones de operación. Estas condiciones de operación, hace referencia a estaciones portátiles, móviles o bases, cada cual con distintos equipos de variadas potencias en transmisión y sensibilidades en recepción, sumados a antenas de diferentes ganancias, logrando así percepciones distintas debido a lo subjetivo de las pruebas realizadas.

El problema que pretende resolver este proyecto es determinar la validez del software de simulación, para posteriormente utilizar el software con la seguridad que lo proyectado por éste se condice con lo real. Todo esto en base a mediciones objetivas mediante la instrumentación adecuada, dejando de lado las impresiones subjetivas que se obtienen de las pruebas realizadas por diferentes radioaficionados en distintas condiciones de operación, obteniendo así una real certeza de la zona efectiva de cobertura del repetidor.

## 1.2 Estado del Arte

**1.2.1 Sistemas de Repetición de Aficionados en Chile:** Actualmente en nuestro país existe, según SUBTEL[1], 122 repetidores de radioaficionados, de los cuales 113 operan en la banda de VHF y 9 en la banda de UHF. En una entrevista realizada al Sr. Ricardo Velazquez A., Director de Redes de Emergencia de la Federación de Radioclubes de Chile, manifiesta que si bien existe conocimiento de que algunos radioaficionados han utilizado algún software de simulación para proyectar la zona de cobertura de un futuro repetidor, una vez instalado éste, jamás se han realizado mediciones objetivas de la cobertura, sólo impresiones subjetivas de los distintos usuarios. Con estos antecedentes se pretende contribuir al estado del arte proporcionando una guía a radioaficionados para producir resultados confiables de la medición de una área de cobertura de un repetidor de VHF o UHF, y evitar con esto las impresiones subjetivas que generan a veces ideas erradas de la real cobertura de un sistema de repetición.

**1.2.2 Modelos de Propagación:** Los modelos de propagación permiten predecir las pérdidas de propagación en los radio enlaces. Se basan principalmente en modelos probabilísticos. Algunos de estos modelos son bastante simples, y no consideran todas las variables del entorno de un enlace, pero sirven como base para el desarrollo de otros modelos más complejos. Algunos de estos modelos son [2]:

a) **Modelo de Friis:** Se deduce de las ecuaciones de Maxwell, y permite calcular la potencia recibida en el receptor en condiciones ideales, libre de obstrucciones de cualquier naturaleza, es decir existe lo que se conoce como “Línea de Vista”. Este modelo predice la pérdida de propagación entre el transmisor-receptor a medida que aumenta la distancia y la frecuencia. La ecuación (1) utilizada para calcular la pérdida en términos logarítmicos (dB) entre TX-RX en el espacio libre es la siguiente:

$$PL=32,4+20\log(F)+20\log(D) \quad (1)$$

*Donde:*

*PL = Pérdida de Propagación en decibeles*

*D = Distancia en Km*

*F = Frecuencia en MHz*

b) **Modelo de 2 Rayos:** Es un modelo que permite saber la pérdida entre transmisor y receptor. Al igual que el modelo anterior considera que no existe obstrucciones entre TX y RX, y considera la reflexión de las señales sobre la tierra. A diferencia del modelo de Friis, considera la altura de las antenas sobre la tierra. El cálculo de la potencia recibida es independiente de la frecuencia utilizada. Este modelo solo se puede aplicar a partir de una distancia determinada  $b$ , que se calcula con la siguiente formula (2):

$$b = \frac{(4\pi \cdot h_{tx} \cdot h_{rx})}{\lambda} \quad (2)$$

*Donde:*

*b = Distancia mínima para aplicar modelo*

*h<sub>tx</sub> = Altura del transmisor*

*h<sub>rx</sub> = Altura del receptor*

La fórmula (3) del modelo de 2 rayos es la siguiente:

$$P_{rx} = P_{tx} \cdot G_{tx} \cdot G_{rx} \cdot \frac{(h_{tx} \cdot h_{rx})^2}{d^2} \quad (3)$$

*Donde:*

*P<sub>rx</sub> = Potencia recibida (Watts)*

*P<sub>tx</sub> = Potencia transmitida (Watts)*

*G<sub>tx</sub> = Ganancia antena transmisora*

*G<sub>rx</sub> = Ganancia antena receptora*

*h<sub>tx</sub> = Altura antena transmisora (Metros)*

$h_{rx}$  = Altura antena receptora (Metros)

$d$  = Distancia entre transmisor y receptor (Kilómetros)

c) **Modelo Okumura - Hata**: Es un modelo utilizado principalmente en ambientes urbanos. Basado en los datos de pérdida por propagación de Okumura. Este modelo fue desarrollado en la ciudad de Tokio, Japón. Presenta atenuaciones adicionales para espacio libre, entorno suave y ambiente urbano. Su frecuencia de utilización se encuentra en el rango de los 150 a 1500 MHz., y la distancia máxima es de 100 kilómetros. La altura de la antena transmisora debe estar entre los 30 y 200 metros, y la receptora entre 1 a 10 metros. Las pérdidas de propagación con este modelo se calculan con la siguiente fórmula (4):

$$PL(dB) = 69,5 + 26,16 \log(f) - 13,82 \log(h_{tx}) - a(hm) + [44,9 - 6,55 \log(h_{tx})] \log(d) \quad (4)$$

$$a(hm) = [1,1 \log(f) - 0,7] h_{rx} - [1,56 \log(f) - 0,8] dB$$

Donde:

$PL$  = Pérdida del espacio libre

$f$  = Frecuencia (MHz)

$h_{tx}$  = Altura de la antena transmisora (metros)

$h_{rx}$  = Altura de la antena móvil (metros)

$d$  = Distancia entre el transmisor y receptor (Km)

$a(hm)$  = Factor de corrección para entorno de ciudad mediana

### 1.3 Equipamiento a Utilizar

**1.3.1 Equipos utilizados para medición del sistema radiante y potencia del repetidor:** Para medir la relación de ondas estacionarias de la antenna, se utilizó un analizador de antenas de marca MFJ, modelo 269B. Este instrumento permite modelar el sistema radiante y generar en forma manual la curva de ROE. Permite mediciones entre 1,8 a 170 MHz, y entrega el valor resistivo y de reactivo de la antenna bajo medida. Para la medición de la potencia emitida por el transmisor antes y después de los duplexores, se utilizó un wattmetro multiescala de RF de marca Telewave, modelo 44A, que permite medir potencia directa y reflejada hasta el orden de 1 GHz, con potencias máximas de 500 Watts. Estas mediciones se realizaron utilizando una “carga fantasma” de 50 Ohms y 60 Watts de la misma marca del wattmetro, modelo TWL-60. Todo esto permite ingresar datos fidedignos al software de simulación.



*Ilustración 1: Equipos de medición utilizados en el transmisor*

**1.3.2 Equipos utilizados para medición de potencia recibida:** Para medir la potencia recibida, se utilizó un analizador de espectros marca BK Precision, modelo 2658A, que permite realizar mediciones entre los 50 KHz a los 8,5 GHz. Es un equipo digital, con batería interna lo que lo hace portátil y muy práctico para mediciones en terreno.

La antena a utilizar es un dipolo de referencia con trípode de madera marca Anritsu. Modelo MP663A, unido al analizador de espectros por un cable coaxial de baja pérdida, tipo LMR-195 de Times

Microwave.

#### **1.4 Programa de Simulación**

Existen muchos softwares de simulación de cobertura en el mercado, como lo son Planet, Wigiplan, Forecaster, Rfcad, Path Loss etc., todos con un alto costo económico, que bordean los USD 4500. De ahí resalta el aporte realizado por Roger Coudé, radioaficionado canadiense, quien puso a disposición de la comunidad científica un software de simulación creado por él, llamado Radiomobile. Este software ha sido utilizado ampliamente por la comunidad educativa, como la Universidad Técnica de Madrid, Universidad Técnica Metropolitana (UTEM), Universitat Politècnica de Catalunya, Ingeniería sin fronteras, Canarias Wireless etc. De hecho en mayo del año pasado, la Comisión de Telecomunicaciones del Colegio de Ingeniero de Chile A.G., impartió un curso de la adecuada utilización de este programa, al cual el autor de esta tesina asistió como alumno.

En los siguientes capítulos se revisara con mayor detalle las características del software a utilizar, de desarrollará el diagrama de cobertura del sistema, se determinarán los puntos de medición a validar, se detallará la campaña de mediciones junto a su metodología, se expondrán los resultados obtenidos y se contrastarán con los arrojados por el software, y se concluirá sobre su validez.

## **Determinación de Cobertura Mediante Programa de Simulación**

### **2.1 Descripción del Programa**

Radiomobile [3] permite la simulación de propagación en un rango de los 20 MHz a los 20 GHz. Se basa en la última versión del modelo de propagación sobre Terreno Irregular ITM (Longley-Rice) y permite integrar bases de datos topográficas como GTOPO-30 o SRTM. La Base de Datos Topográfica GTOPO-30 [4] es un modelo digital de terreno generado en el año 1993 por la USGS y tiene un espaciado de muestras de 30 arco-segundos, es decir el muestreo se realizó aproximadamente cada 1 Km. Por su parte SRTM [5], que es el acrónimo de “Shuttle Radar Topographic Mission” se desarrolló en el año 2000 por un grupo de trabajo integrado por la USGS y la NASA logrando un muestreo de solo 3 arco-segundos, es decir aproximadamente cada 100 metros.

### **2.2 Modelo de Propagación Longley-Rice**

Por su parte el modelo de propagación Logley-Rice utiliza para el cálculo de las pérdidas la teoría de la difracción, la refracción troposférica y los efectos no lineales del terreno. Las pérdidas adicionales están basadas en medidas tomadas en varias situaciones. Los algoritmos están basados en ITM (Irregular Terrain Model) del Institute for Telecommunications Sciences.

Este modelo de propagación trabaja en frecuencias entre los 20 MHz y los 40 GHz., y entre longitudes de trayecto de 1 y 2000 Km., y utiliza los siguientes parámetros [6]:

#### **2.2.1 Parámetros comunes con respecto a otros modelos de propagación:**

- Frecuencia: Deben estar entre el rango de los 20 MHz a los 40 GHz.
- EIRP: Potencia Isotrópica Efectiva Radiada
- Antenas: Considera el diagrama de radiación de las antenas involucradas
- Altura de las Antenas: Considera la altura de las antenas sobre el nivel del mar, con la ayuda de la Base de Datos Topográfica.

#### **2.2.2 Parámetros específicos del modelo:**

- Polarización: Se debe especificar el tipo de polarización lineal; vertical u horizontal

- Refractividad: Utiliza por defecto  $4/3$  (1,333) para condiciones atmosféricas promedio
- Permisividad: Permisividad relativa o constante dieléctrica del aire
- Conductividad: Medida en Siemens por metro
- Clima: Considera 7 modelos distintos de clima: Ecuatorial, Continental Subtropical, Marítimo Subtropical, Desértico, Continental templado, Marítimo templado sobre tierra y Marítimo templado oceánico.
- Variabilidad: Determina 4 modelos de variabilidad, la que determina la fiabilidad de los valores usados en el modelo. Estos modelos de variabilidad son; Modo de mensaje único, Modo individual, Modo Móvil y Modo Broadcast.
- La variabilidad utilizada en el modelo, son el tiempo, la posición y la variabilidad de situación. La idea de desarrollar estas tres dimensiones de variabilidad permite considerar y clasificar las variaciones en los niveles de señal medidos. La variabilidad de corto plazo por multitrayecto no es considerada en el modelo.

## **2.3 Uso e Ingreso de datos en Radiomobile**

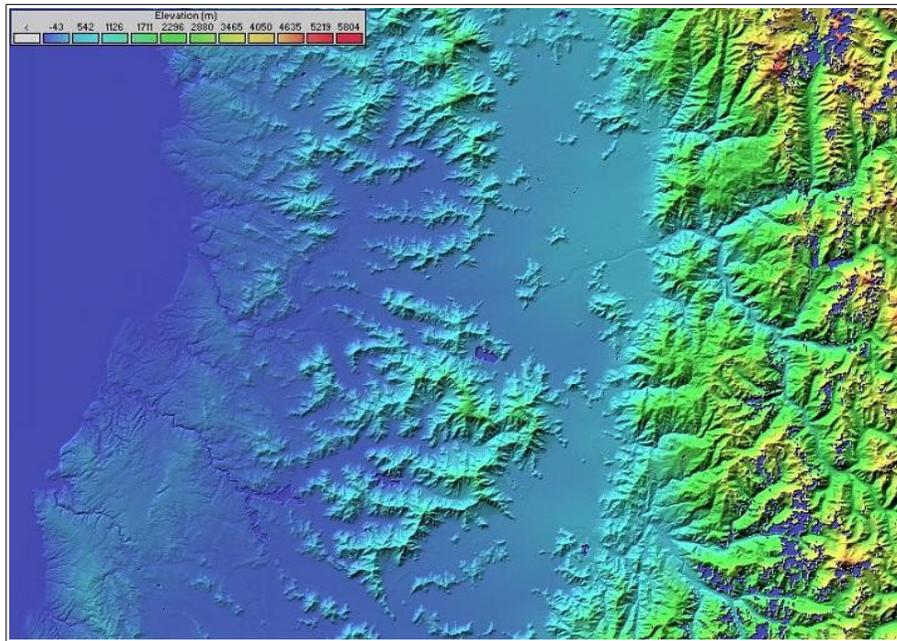
### **2.3.1 Prerrequisitos:**

Dentro de los prerrequisitos para el uso del software Radiomobile se sugiere un computador adecuado, contar con la base de datos topográfica SRTM-3 alojada en el disco duro del computador, y una conexión a internet. En los datos relevantes, requiere conocer con anticipación las características de las estaciones que integraran el sistema, como:

- Coordenadas geográficas (HH.MM.SS.s)
- Potencia de Transmisión (Watts / dBm)
- Sensibilidad de Recepción (uV / dBm)
- Ganancia Antena (dBi / dBd)
- Patrón de radiación (Omidireccional / Directivo)
- Pérdida de la línea de transmisión (dB)
- Otras pérdidas (Conectores, cavidades etc)

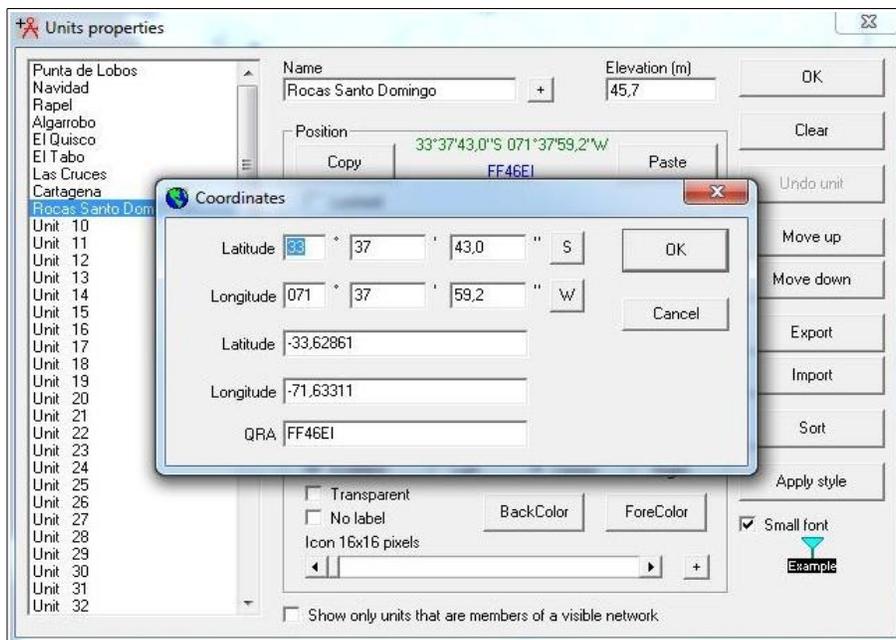
**2.3.2 Ingreso de Parámetros:** Cuando se cuenta con estos datos, se puede comenzar a utilizar el software, y resumiendo los pasos, se pueden enumerar los principales [3]:

a) Se debe ingresar las coordenadas del Repetidor, las cuales van a determinar el centro del mapa, después se le indica el largo y ancho en kilómetros de la imagen a generar. Una vez ingresados estos datos, se carga el mapa de la base de datos topográficas SRTM-3 con su correspondiente altimetría.



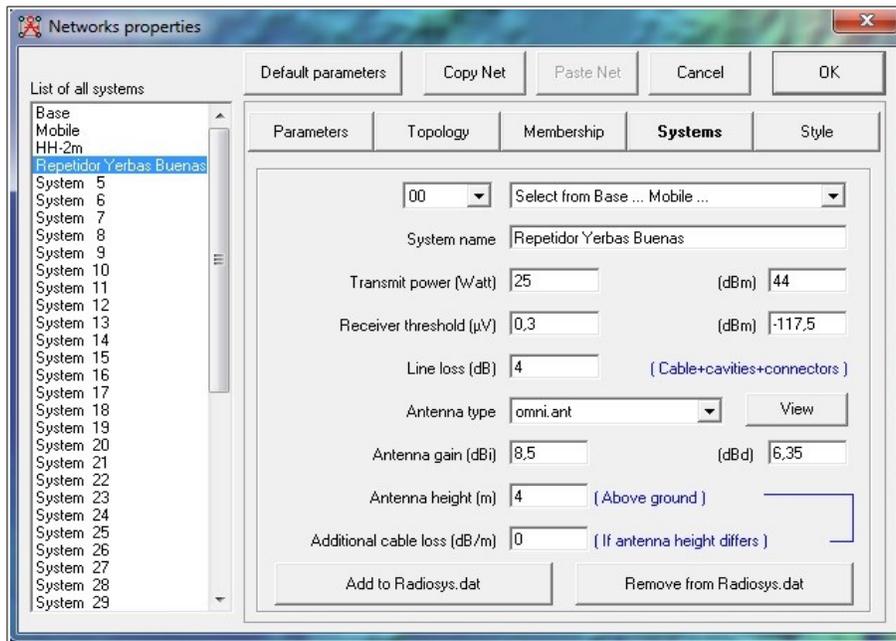
*Ilustración 2: Mapa georeferenciado y matriz de elevación*

b) Se introduce las coordenadas geográficas de cada uno de los puntos remotos que se van a evaluar, incluyendo las coordenadas donde está emplazado el repetidor.



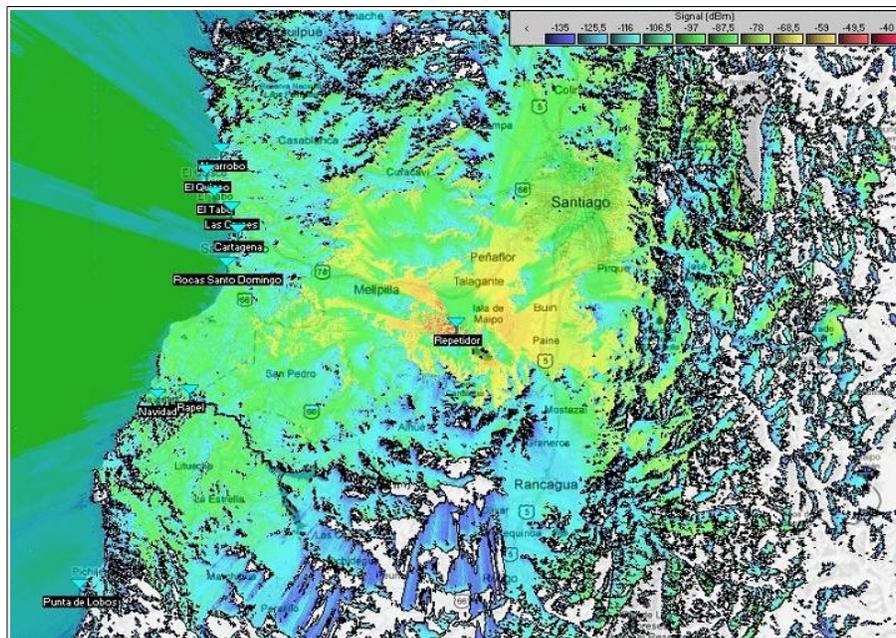
*Ilustración 3: Ingreso de Coordenadas*

c) Posteriormente se ingresa las características eléctricas de los equipos y de las antenas utilizadas en el sistema, tanto del lado remoto como del repetidor.



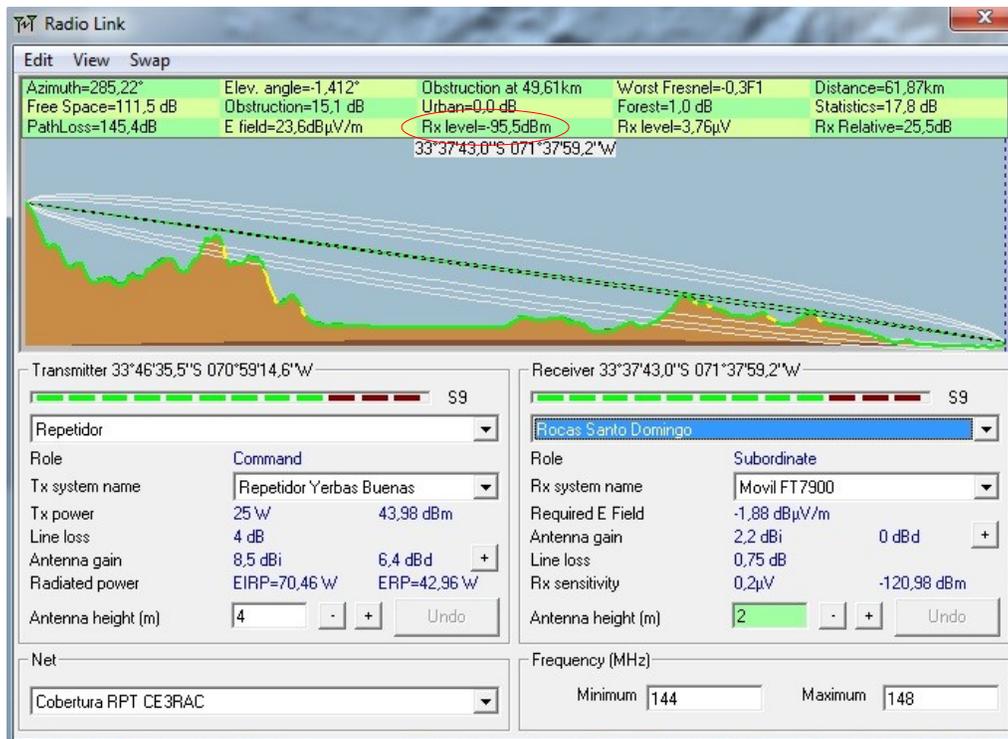
*Ilustración 4: Ingreso de datos; equipos y antenas*

d) Habiendo ingresado todos los datos anteriormente descritos, se puede generar el diagrama de cobertura polar del repetidor, donde la barra superior derecha indica la representación por color de los diferentes niveles de potencia.



*Ilustración 5: Diagrama de cobertura del repetidor*

e) Por ultimo se puede generar el perfil de enlace entre el repetidor y cada una de las estaciones remotas. Esto tiene especial relevancia, ya que en este perfil el software nos entrega la proyección de la primera zona de Fresnel y de la potencia calculada de se debiese obtener en el punto de medición. En este ejemplo la potencia proyectada para el punto “Rocas Santo Domingo” es de -95.5 dBm.



*Ilustración 6: Ejemplo de perfil de enlace*

## 2.4 Análisis del posible uso de una antena directiva en el Repetidor

El posible uso de una antena directiva en un repetidor de comunicaciones, es algo inusual a lo menos en el mundo de la radioafición. No se tiene conocimiento de algún repetidor de aficionados que ocupe una antena de tipo patrón de radiación directivo, al menos en nuestro país. La razón principal radica en que el uso de una antena omnidireccional generalmente permite cubrir amplias áreas geográficas, lo que es privilegiado para este tipo de sistemas de aficionados. Sin embargo el uso de antenas directivas en sistemas de repetición se plantea como una alternativa interesante. Técnicamente una antena directiva permitiría un área de cobertura físicamente más acotada, pero con niveles de potencia superiores al concentrar el haz de radiación hacia un lugar determinado. También permitiría utilizar antenas con downtilt, lo que permite utilizar de mejor manera la radiación de la antena, pudiendo aprovechar el patrón de radiación vertical de las antenas. Dentro de las múltiples topologías que podrían generarse

con antenas directivas, resaltan las siguientes:

- Una única antena direccional, apuntando a un lugar de interés determinado
- Unir mas de una antena direccional, por medio de un divisor de RF, apuntando a distintos lugares, con la idea de lograr un área de cobertura mayor que solo con una antena, pero logrando niveles superiores a los que pudiese lograrse con una antena omnidireccional.
- Utilizar una cantidad tal, que permita obtener un patrón de radiación omnidireccional, como lo hace la telefonía celular al formar arreglos de 3 antenas sectoriales de 120° de radiación horizontal, y utilizando downtilt para aprovechar el patrón de radiación vertical. En sistema de radiocomunicaciones comerciales de VHF y UHF se utilizan “Arboles de dipolos” que son formaciones de 4 dipolos dispuestos a 90° entre sí, logrando un patrón de radiación omnidireccional y alta ganancia, alrededor de los 11,15 dBi. Estos sistemas radiantes son sumamente eficientes, pero tienen un costo económico que lo mantiene distante de los medios con los que cuenta el común de los radioaficionados.

## **2.5 Determinación de los puntos de Validación**

La determinación de los puntos de medición se generan en una reunión con la comisión técnica de los encargados del repetidor. Los puntos a medir corresponden a lugares de interés a cubrir por el repetidor debido a su posición costera o por ser un punto estratégico al encontrarse cerca de una represa. Por lo descrito anteriormente es importante contar con una comunicación alternativa en el caso de una alerta de tsunami u otro tipo de emergencia natural o no, en donde las comunicaciones comerciales colapsen. Estos relevantes son:

- Algarrobo
- El Quisco
- El Tabo
- Las Cruces
- Cartagena
- Roca de Santo Domingo
- Rapel
- Pichilemu



### 3.4 La Fuente de Señal

La fuente de señal corresponde al repetidor de VHF perteneciente al Radio Club Aeronáutico, y se encuentra localizado en la comuna de Paine, en el cerro Yervas Buenas, en un complejo que alberga el radar de de la DGAC que permite visualizar el tráfico aéreo de la zona del litoral central, desde el aeropuerto Comodoro Arturo Merino Benitez en Santiago.

Datos relevantes	
Coordenadas	33° 46' 35,51" S 70° 59' 14,62" W
Potencia EIRP	70,46 Watts
Altura Antena	1325 Metros s.n.m.m.
Frecuencia Transmisión	147,27 MHz

*Tabla 1: Datos relevantes del transmisor*



*Ilustración 8: Sitio de repetición y antena del sistema*



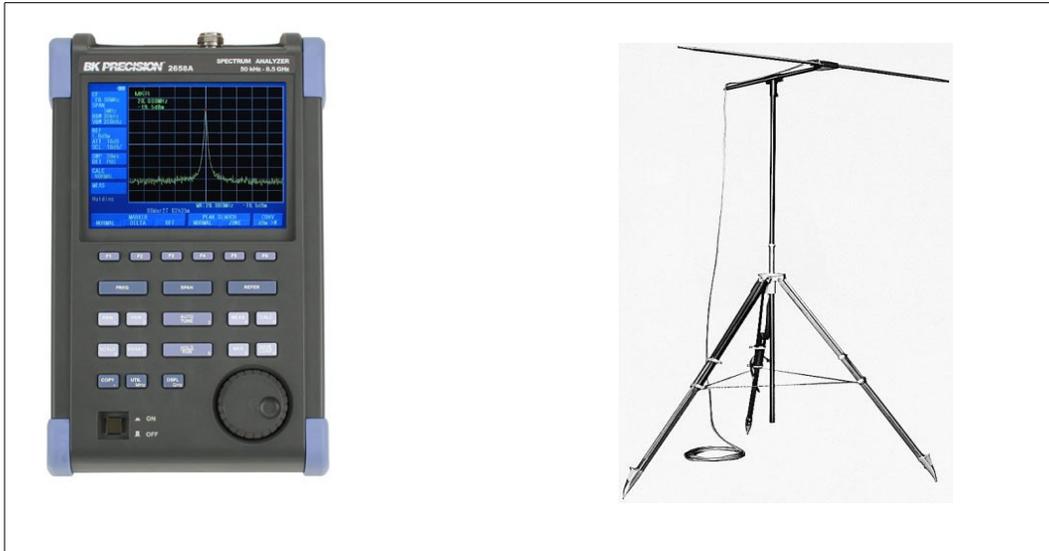
*Ilustración 10: Antena emisora*



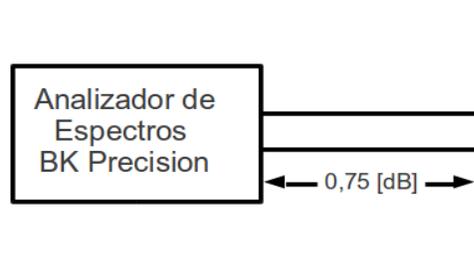
*Ilustración 9: Equipo repetidor*

### **3.5 Equipamiento**

Los equipos utilizados para el procedimiento de medición fueron: un analizador de espectro BK Precision 2658A, un cable coaxial de baja pérdida y una antena dipolo patrón marca Anritsu modelo Modelo MP663A con su respectivo trípode de madera, elementos observables en la figura numero 11. Se procedió a efectuar las mediciones de acuerdo a el arreglo indicado en la figura número 12:



*Ilustración 11: Equipos utilizados en el procedimiento de medición*



*Ilustración 12: Esquema de medición*

### 3.6 Procedimiento de medición

Para medir la potencia recibida [7], se tomaron 320 mediciones por punto. Estas mediciones se realizaron promediando 32 mediciones en cada una de las 10 rotaciones sobre un punto en base a un círculo imaginario de  $2\lambda$ , para así compensar las variaciones en la medición producto del desvanecimiento de pequeña señal y las posibles multitrayectorias. Para este efecto, el analizador de espectro cuenta con la función de automatizar el muestreo de las 32 mediciones y entregar un promedio estadístico de ellas, logrando así obtener 10 valores promedio por cada punto medido.



*Ilustración 13: Mediciones sector Algarrobo*



*Ilustración 14: Mediciones sector El Tabo*



*Ilustración 15: Mediciones sector Rocas de Santo Domingo*



*Ilustración 16: Mediciones sector Punta de Lobos, Pichilemu*

## Capítulo 4

### Resultado de las Mediciones

#### 4.1 Objetivo

Exponer los valores obtenidos en la campaña de medición, en el mismo orden cronológico en el cual fueron realizadas.

#### 4.1.1 Punto Comuna de Algarrobo

Coordenadas del punto de medición: 33° 20' 45.2" S

71° 38' 57.9" W

Referencia: Costado condominio San Alfonso del Mar

Altura S.N.M.M: 31,8 metros

Altura Antena: 2 metros



Ilustración 17: Punto Algarrobo

Numero de Medición	Valor Promedio (dBm)	Numero de Medición	Valor Promedio (dBm)
1	-106,4	6	-106,9
2	-106,5	7	-108,1
3	-107,1	8	-106,9
4	-107,7	9	-107,3
5	-107,3	10	-107,7

Tabla 2: Mediciones Algarrobo

#### 4.1.2 Punto Comuna de El Quisco

Coordenadas del punto de medición: 33° 23' 53,5" S  
71° 41' 30,9" W

Referencia: Espalda Municipalidad El Quisco

Altura S.N.M.M: 67,6 metros

Altura Antena: 2 metros

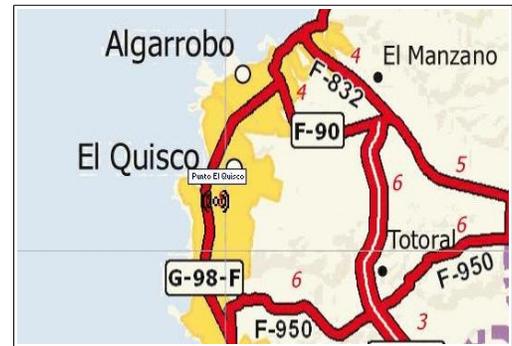


Ilustración 18: Punto El Quisco

Numero de Medición	Valor Promedio (dBm)	Numero de Medición	Valor Promedio (dBm)
1	-97,2	6	-112,5
2	-98,9	7	-110,3
3	-111,1	8	-111,3
4	-112,1	9	-109,6
5	-110,4	10	-107,4

Tabla 3: Mediciones El Quisco

#### 4.1.3 Punto Comuna El Tabo

Coordenadas del punto de medición: 33° 27' 18,7" S  
71° 40' 6,0" W

Referencia: Baquedano esq. Mardoqueo Yañez

Altura S.N.M.M: 16,4 metros

Altura Antena: 2 metros



Ilustración 19: Punto El Tabo

Numero de Medición	Valor Promedio (dBm)	Numero de Medición	Valor Promedio (dBm)
1	-85,4	6	-93,7
2	-89,6	7	-92,7
3	-89,8	8	-88,7
4	-87,6	9	-90,6
5	-94,1	10	-95,0

Tabla 4: Mediciones El Tabo

#### 4.1.4 Punto Sector Las Cruces

Coordenadas del punto de medición: 33° 29' 24,0" S  
71° 37' 12,8" W

Referencia: Costado Municipalidad del Tabo

Altura S.N.M.M: 54,3 metros

Altura Antena: 2 metros



Ilustración 20: Punto Las Cruces

Numero de Medición	Valor Promedio (dBm)	Numero de Medición	Valor Promedio (dBm)
1	-106,0	6	-97,2
2	-95,2	7	-98,3
3	-101,1	8	-99,3
4	-93,7	9	-97,5
5	-98,0	10	-97,1

Tabla 5: Mediciones Las Cruces

#### 4.1.5 Punto Comuna de Cartagena

Coordenadas del punto de medición: 33° 32' 48,7" S  
71° 36' 7,9" W

Referencia: Plaza de Cartagena

Altura S.N.M.M: 55,8 metros

Altura Antena: 2 metros



Ilustración 21: Punto Cartagena

Numero de Medición	Valor Promedio (dBm)	Numero de Medición	Valor Promedio (dBm)
1	-107,1	6	-109,3
2	-109,3	7	-109,7
3	-111,0	8	-110,1
4	-110,9	9	-107,5
5	-108,0	10	-110,3

Tabla 6: Mediciones Cartagena

#### 4.1.6 Punto Comuna de Santo Domingo

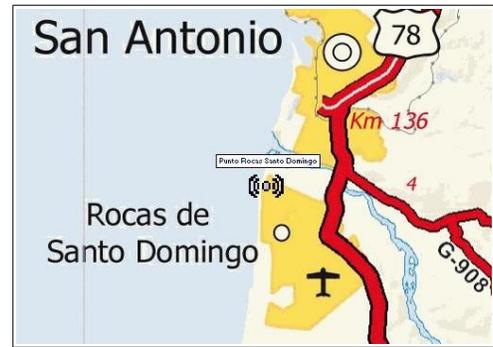
Coordenadas del punto de medición: 33° 37' 43,0" S

71° 37' 59,2" W

Referencia: Mirador Rocas de Santo Domingo

Altura S.N.M.M: 45,7 metros

Altura Antena: 2 metros



*Ilustración 22: Punto Santo Domingo*

Numero de Medición	Valor Promedio (dBm)	Numero de Medición	Valor Promedio (dBm)
1	-97,6	6	-93,6
2	-96,9	7	-94,1
3	-99,5	8	-92,4
4	-97,6	9	-96,6
5	-94,1	10	-95,3

*Tabla 7: Mediciones Santo Domingo*

#### 4.1.7 Punto Localidad de Rapel

Coordenadas del punto de medición: 33° 56' 35,3" S

71° 44' 17,1" W

Referencia: Frente a Cuerpo de Bomberos de Rapel

Altura S.N.M.M: 25,4 metros

Altura Antena: 2 metros



*Ilustración 23: Punto Rapel*

Numero de Medición	Valor Promedio (dBm)	Numero de Medición	Valor Promedio (dBm)
1	-110,1	6	-111,4
2	-111,4	7	-110,9
3	-109,3	8	-110,1
4	-111,9	9	-111,4
5	-110,6	10	-112,3

*Tabla 8: Mediciones Rapel*

#### 4.1.9 Punto Comuna de Pichilemu

Coordenadas del punto de medición: 34° 25' 32,1" S  
72° 02' 53,7" W

Referencia: Punta de Lobos

Altura S.N.M.M: 18,2 metros

Altura Antena: 2 metros



*Ilustración 24: Sector Pichilemu*

Numero de Medición	Valor Promedio (dBm)	Numero de Medición	Valor Promedio (dBm)
1	-97,5	6	-98,5
2	-97,6	7	-97,2
3	-101,1	8	-97,6
4	-100,6	9	-100,2
5	-101,5	10	-96,7

*Tabla 9: Mediciones Pichilemu*

## Capítulo 5

### Contrastación de Resultados

#### 5.1 Objetivo

A continuación se procederá a contrastar los valores esperados respecto a los valores medidos, mediante un análisis comparativo. Se realizará un análisis comparativo simple, entre el promedio de los valores medidos y lo proyectado por el software Radiomobile. La pérdida producto de la línea coaxial que une la antena con el analizador de espectro, está considerada en la proyección del software.

#### 5.2 Tabla Comparativa

En la siguiente tabla se entregan los valores promedios obtenidos en la campaña de mediciones y los valores esperados según la proyección del software Radiomobile.

Punto de Medición	Distancia a la Antena [Km]	Nivel de Potencia Promedio Medido [dBm]	Nivel de Potencia Calculado [dBm]
Algarrobo	77,65	-107,16	-114,3
El Quisco	77,48	-104,04	-103,4
El Tabo	72,33	-89,72	-97,8
Las Cruces	66,56	-97,40	-94,4
Cartagena	62,26	-109,12	-105,1
Santo Domingo	61,87	-95,28	-95,5
Rapel	71,77	-110,85	-113,5
Pichilemu	121,67	-98,53	-104,5

*Tabla 10: Comparativa de valores*

### 5.3 Análisis de resultados

Si se comparan los valores obtenidos de las mediciones con los valores proyectados por el software, se puede observar que algunos valores comparativos tienen diferencias mínimas, como los obtenidos en los sectores de El Quisco y Santo Domingo. En este caso se puede asumir que el software ha demostrado tener una gran exactitud. En el extremo opuesto, podemos observar que en Algarrobo y el Tabo, el software ha arrojado una diferencia relativamente significativa, lo que podría catalogarse como un comportamiento regular del software y por último en los sectores de Las Cruces, Cartagena y Rapel y Pichilemu el software tiene un comportamiento bueno, que se asemeja mucho a lo obtenido con softwares comerciales como Path Loss.

Respecto de las variaciones sufridas por las mediciones, estas pueden deberse a factores externos y de software, las que pueden entenderse así:

- La señal fuente proviene de un clima continental templado, pero las mediciones se realizaron en un clima marítimo templado sobre tierra, por lo cual la señal atraviesa ambos tipos de clima. El software contempla el uso de un solo tipo de clima a la vez, y entiende que el enlace se realiza completamente sobre este único clima.
- El software no considera las construcciones realizadas por el hombre, por lo cual todas estas estructuras no son consideradas en el cálculo de enlace, aún cuando estas construcciones se presenten como obstrucciones a la línea de vista.
- Como el software no considera las construcciones realizadas por el hombre, tampoco considera los posibles efectos de multitrayectoria que pueden generar estas construcciones, lo que puede llevar a aumentar o disminuir los niveles medidos.
- Una carta topográfica de mejor resolución, quizás podría mejorar los valores entregados por el software. Para América del sur la mejor resolución obtenida a través de SRTM es de muestreos cada 3 arco segundos, es decir aproximadamente cada 100 metros, pero para Estados Unidos y Canadá es de solo 1 arco segundos, es decir aproximadamente cada 30 metros, lo que permitiría

al software entregar valores de mayor precisión.

- Algunos usuarios pudieron haber modulado en el repetidor mientras se realizaron las mediciones, lo que podría significar variaciones en los valores medidos esperados con portadora sin modular.
- Finalmente puede haber otras variables no consideradas, como es el paso de personas y de vehículos cercanos al lugar donde se realizaron las mediciones, que tampoco son contempladas por el software.

#### **5.4 Comparativa con software Path Loss**

Con el fin de complementar las comparaciones, se incluyeron los perfiles de enlace del sector “Punta de Lobos” en Pichilemu, generados con el software gratuito Radiomobile, y el software comercial PathLoss 4.0. En ambos programas se utilizó como Base de Datos Topográficas SRTM-3.

Se puede observar que el perfil topográfico generado por medio de Radiomobile, (Fig.25) es similar al generado con el software PathLoss 4.0 (Fig.26). También es coincidente el azimuth que permite en el caso de una antena directiva, apuntar hacia el sitio remoto. Respecto a lo calculado en la pérdida por espacio libre, existe una mínima diferencia. Otro punto coincidente corresponde a la distancia calculada del enlace, que en el caso de PathLoss 4.0 se puede observar en la tabla resumen de enlace (Fig. 27).

También se puede deducir que la diferencia en las potencias de recepción que arrojan ambos programas se debe a la forma de manejar las pérdidas por difracción. Quizás una de las grandes ventajas que mantiene PathLoss 4.0 con respecto a Radiomobile, es incluir dentro de la suite los módulos de multitrayectoria y dispersión, donde se puede observar gráficamente el comportamiento de estas características ópticas que sufren las ondas de radio.

Finalmente comparando ambas predicciones, se observa que PathLoss 4.0 tiene una diferencia menor a 1 dB entre lo proyectado y lo medido, mientras que Radiomobile bordea una diferencia de casi 6 dB.

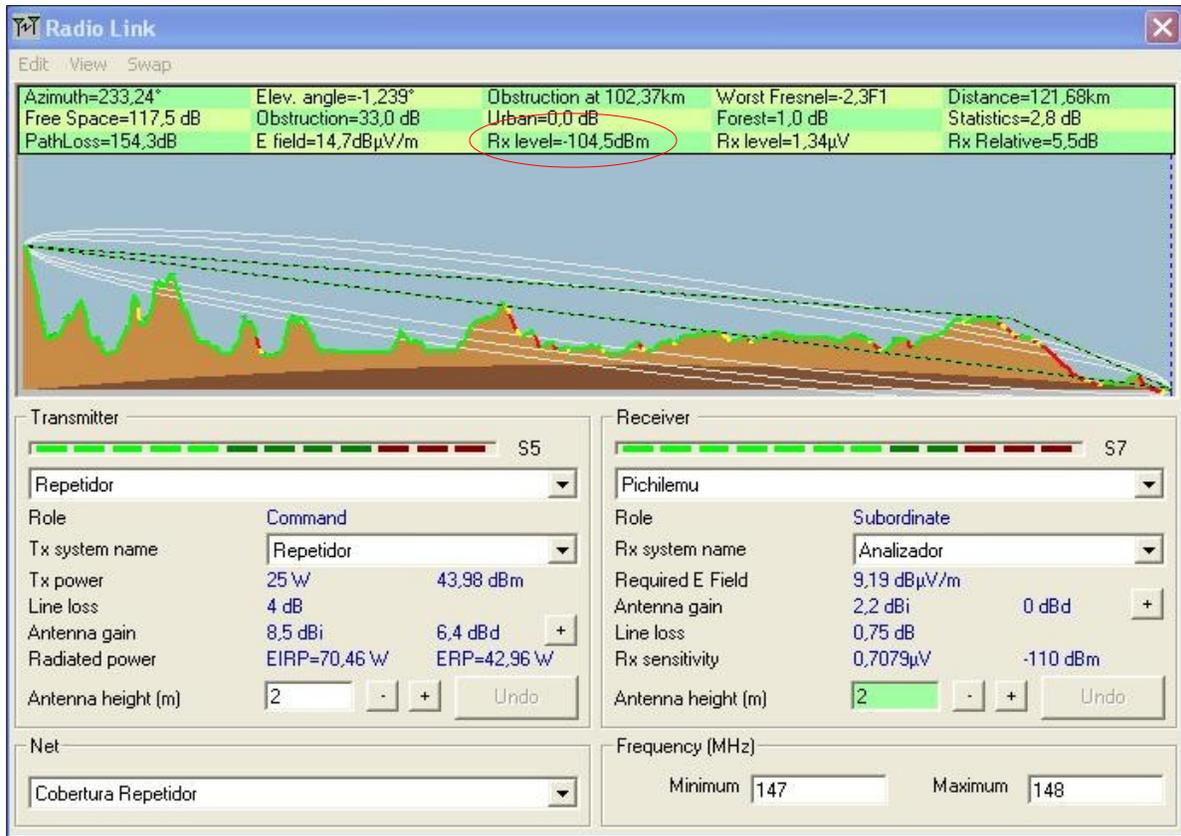


Ilustración 25: Perfil enlace con software Radiomobile

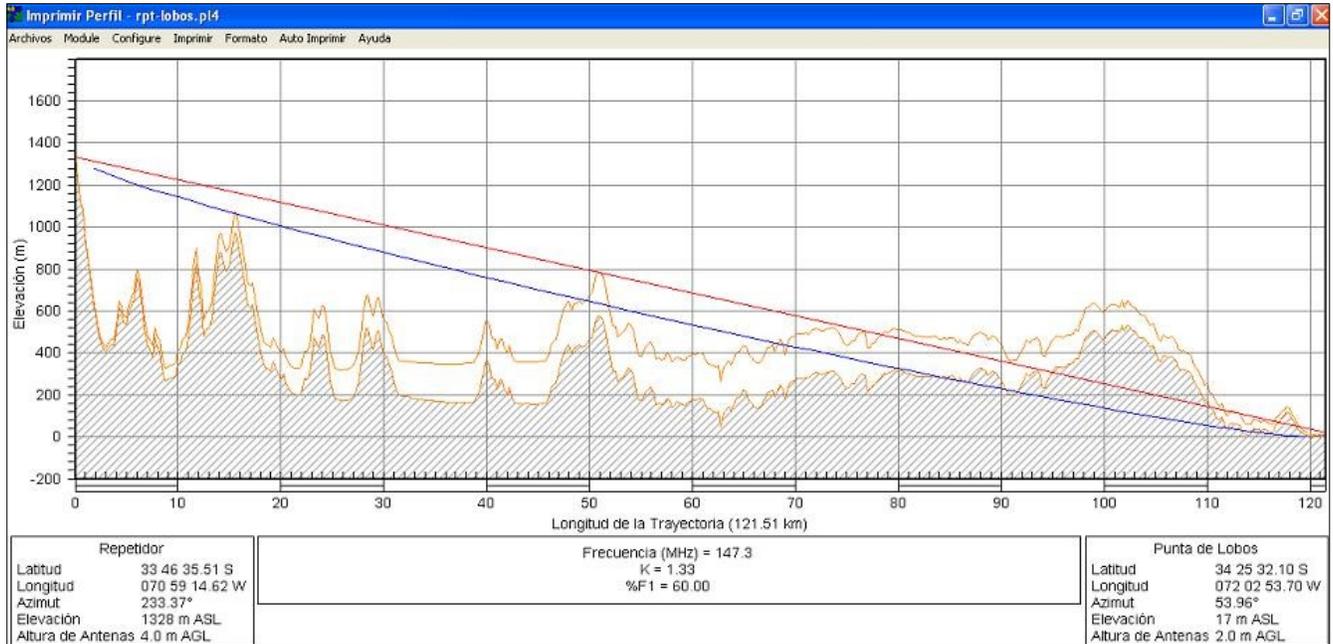


Ilustración 26: Perfil de enlace con PathLoss 4.0

Potencia Radiada Efectiva (w)	70.45	44.98
(dBm)	48.48	46.53
Pérdidas de Espacio Libre (dB)	117.68	
Polarización	Vertical	
Pérdidas Netas del Enlace (dB)	141.64	143.40
Señal Recibida ( $\mu$ v)	3.93	2.39
(dBm)	-95.11	-99.42
Intensidad de Campo Recibido ( $\mu$ v/m)	7.61	9.39
Margen de Desvanecimiento (dB)	14.89	10.58
Rayleigh Fade Probability (%)	3.188	8.372
Log Normal Fade Probability (%)	3.132	9.293

*Ilustración 27: Resumen perfil de enlace*

## 5.5 Conclusiones

En el presente trabajo se contrastaron valores teóricos obtenidos a partir de un software desarrollado para el cálculo de cobertura de radio frecuencia, con los valores promedio obtenidos por medio de una serie de mediciones efectuadas en terreno. Según el análisis comparativo, se puede concluir que a pesar de algunas diferencias en lo contrastado, el software permite predecir con cierto grado de tolerancia los valores medios que se logran en la práctica.

Se debe considerar que la medición de la propagación de ondas electromagnéticas obedece mejor a un modelo estocástico que determinista, puesto que cada terreno tiene su factor de reflectividad y absorción, y que además existen variaciones en el índice de refracción y difracción en el transcurso de las mediciones producto de las continuas variaciones del tiempo atmosférico.

Durante el proceso de mediciones es conveniente alejarse de los grandes centros urbanos, ya que la predicción del software no contempla las estructuras construidas por el hombre. También se recomienda evitar lugares donde exista un continuo transitar de vehículos y personas, para evitar absorción y multitrayectorias indeseadas.

Una mayor certeza en los valores proyectados se podría lograr al tener una base de datos topográficas de mayor precisión, como es el caso de SRTM-3 en Estados Unidos, donde el muestreo realizado permitió obtener resoluciones de solo 30 metros, permitiendo obtener valores con menor diferencia

entre lo proyectado por el software y lo medido en campo.

También es importante considerar que el software utilizado es de distribución gratuito, y que continuamente se está mejorando con nuevas actualizaciones con el fin de lograr una mayor exactitud en las predicciones. En base a esto es importante resaltar la figura de su autor, al poner a disposición esta herramienta sin mayor ambición que compartir sus conocimientos y desarrollos personales.

La proyección de este trabajo está orientada a poder establecer las diferencias entre un software predictivo de cobertura de señales de radiofrecuencia, con lo obtenido en mediciones reales en terreno, para así entender las posibles diferencias que se puede encontrar entre lo proyectado y lo medido en futuros estudios. Un aporte adicional puede ser la metodología utilizada para realizar mediciones confiables en sistemas de repetidores de radioaficionados.

Finalmente se puede entender que, entre mejor se compruebe el área de cobertura de un repetidor de aficionados, con mayor seguridad se puede brindar un servicio de radiocomunicaciones, sobre todo en situaciones donde los sistemas comerciales de comunicaciones sufren saturaciones o simplemente dejen de funcionar.

## 5.5 Referencias Bibliográficas

- [1] **Subtel**, Artículos de apoyo para Radioaficionados. Pagina Web, 04 Febrero 2013
- [2] **J.C. Soriana**, Modelo Experimental de Propagación de RF en Espacio Libre y Vegetación a 9,1 GHz, Tesis de Grado, Universidad de las Américas, Puebla México 2006
- [3] **Ing. Eduardo Costoya**, Manual Curso RadioMobile, Colegio de Ingenieros de Chile A.G. , Mayo 2011
- [4] **U.S. Geological Survey**, Pagina Web, 20 de Mayo 2008
- [5] **N.A.S.A Shuttle Radar Topography Mission**, Pagina Web, 17 Junio 2009
- [6] **Patricia Garcia Garnacho**, Manual Radiomobile, España Junio 2006
- [7] **Grote Walter y Olivares Ricardo**, Radiación de Estación Base PCS, Departamento de Electrónica UTFSM