

# DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE RADIOENLACES Y ESTACIONES REPETIDORAS WI-FI PARA CONECTIVIDAD DE ESCUELAS RURALES EN ZONA SUR DE CHILE

---

**HUGO DURNEY W.**

Ingeniero Electrónico, Universidad Tecnológica Metropolitana  
Departamento de Electricidad  
e-mail: hdurney@utem.cl

**CÉSAR CASTRO G.**

Universidad Tecnológica Metropolitana  
Departamento de Electricidad  
e-mail: cesar.castro.g@gmail.com

**ROGER ORTIZ S.**

Universitat Politècnica de Catalunya, ETSETB (www.etsetb.upc.es)

*El presente artículo es reeditado en homenaje y recuerdo a nuestro querido amigo y compañero de sueños Roger Ortiz Salvá, fundador del proyecto NET Cochamó.*

## RESUMEN

En el marco de un proyecto de cooperación internacional, el presente artículo presenta un resumen general del desarrollo de una red piloto que integra tecnología Wi-Fi con plataformas tipo embedded para la inclusión y conectividad de zonas rurales aisladas. Se indican aspectos relevantes del diseño e implementación de los enlaces inalámbricos proyectados, tales como el uso de las herramientas de modelado utilizadas y algunos resultados verificados en terreno, permitiendo así definir las líneas futuras de trabajo para la necesaria continuidad de la intervención.

*Palabras Clave: inclusión digital, sistemas embebidos, radioenlaces, acceso rural a Internet, Linux, SRTM, Wi-Fi.*

## ABSTRACT

Within the framework of an international cooperation project, this paper summarizes the development of a pilot network model where Wi-Fi technologies are integrated with embedded platforms to increase the e-inclusion and connectivity of rural areas and isolated communities. A number of remarkable aspects concerning the design and implementation of the projected wireless links are provided, including the analysis of a channel modeling application and some work site results. Finally, future work requirements for the continuity of the projected intervention are defined.

*Keywords: e-inclusion, embedded systems, wireless links, rural Internet access, SRTM, Wi-Fi.*

## 1 INTRODUCCIÓN

La presente comunicación se enmarca en el desarrollo de un proyecto de cooperación internacional coordinado entre la Universidad Tecnológica Metropolitana de Chile (UTEM) y la Universitat Politècnica de Catalunya, España (UPC). El objetivo principal, planteado en el ámbito de la inclusión tecnológica de zonas desatendidas, fue el desarrollo de una primera etapa que contemplase la instalación de una red inalámbrica piloto para enlazar 3 escuelas rurales de la zona del Estuario de Reloncaví, en la Comuna de Cochamó, X Región. La solución técnica propuesta, cuya viabilidad se pudo comprobar a través de este trabajo, contempló el uso de equipos radio-transmisores Wi-Fi, de norma 802.11 a/b/g integrados con tecnología de sistemas tipo embedded que permiten, a través de una plataforma que opera bajo Linux, la configuración de nodos de distribución inalámbrica para el establecimiento de una red inter-escuelas con acceso además a Internet. El escenario de pertinencia en la formulación de este proyecto dice relación con que las 16 escuelas rurales de la Comuna de Cochamó, a inicios del presente año se adjudicaron la dotación de un promedio de dos computadores por colegio a través del programa de gobierno “Enlaces”. Sin embargo, ante la evidencia de que este beneficio no contemplaba el dar efectivamente conectividad a los colegios ni proveerles acceso a Internet, esta carencia de alcance fue vista como una gran oportunidad de complementar dicho beneficio a través de un proyecto que diera completitud y valor agregado a la llegada de estas tecnologías digitales, las que hoy por hoy ya sabemos que sólo pueden cobrar un sentido de real utilidad en la medida que permiten acceder a los canales de comunicación e integración, cuyo mayor exponente es Internet. De este modo, tras una preparación de meses a fin de proyectar cada detalle, dada la previsión de desarrollar trabajo técnico de ingeniería en áreas aisladas, la intervención llevada a cabo en terreno durante quince días contempló, además de la instalación, configuración y puesta en marcha de la red, otras actividades tales como:

- Visita técnica y toma de coordenadas a las escuelas de la zona y centros de desarrollo social (incluyendo sector pre-cordillerano) para analizar las condiciones de la población, viabilidad y necesidad de continuar con el desarrollo futuro de la extensión de la red.

- Asesoría y colaboración técnica para la Municipalidad de Cochamó con el fin de efectuar mediciones y evaluar las instalaciones eléctricas y los puntos de red cableados.
- Evaluación de la realidad que la gente de la zona vive respecto de la accesibilidad, transporte, aislamiento, acceso a medios de comunicación y recursos para el desarrollo, energía eléctrica (no siempre presente en los lugares donde se pretendía intervenir) y, no menos importante: nivel de alfabetización digital, entendido éste como el nivel de conocimiento previo y de disposición a conocer e incorporar las nuevas tecnologías al servicio de sus comunidades.

## 2 ESTUDIO DE LA ZONA Y MODELO DE RED PROPUESTO

En el sector de Cochamó funcionan 16 escuelas rurales de las cuales sólo la Escuela Básica Juan Soler Manfredini tiene acceso Internet. El resto de las escuelas se encuentran disgregadas en la zona, algunas de ellas se encuentran a distancias considerables y el acceso terrestre en la mayoría de los casos es muy limitado. Este conjunto de factores son evidentemente obstáculos importantes a la hora de efectuar una planificación de red y por tanto, se han debido de escoger los puntos de red adecuados para dar inicio a la primera etapa del proyecto.

### 2.1 SELECCIÓN DE LOS PUNTOS DE RED

De las 16 escuelas listadas en la tabla 1 se seleccionaron las 3 más cercanas al centro de Río Puelo que es en donde se encuentra la Municipalidad y el punto de acceso a Internet. Sin embargo, la infraestructura del lugar y la elevación del terreno no permiten establecer los enlaces directamente desde este punto, por lo tanto se optó por proyectar un repetidor ubicado en un sector más alto de Río Puelo. Las coordenadas de todos los puntos involucrados en la red se indican en la tabla 2.

Recinto	Distancia a Río Puelo (km)
E. Básica Juan Soler Manfredini	centro de R. P.
E. Particular N°128 Justo Donoso	19,15
E. Rural Canutillar	55
E. Rural Carlos Rodríguez Paris	60
E. Rural Clotilde Almonacid O. (Yates)	7,94
E. Rural Estuario De Reloncavi	12
E. Rural John F. Kennedy	11,25
E. Rural Litoral De Llaguepe	16,9
E. Rural Paso El Bolson	60
E. Rural San Antonio	50
E. Rural San Luís	8,13
E. Rural Santa Agueda	2,91
E. Rural Santa Teresita De Los Andes	10
E. Rural Soberanía	60
E. Rural Valle El Frío	30
E. Rural Río Puelo	centro de R. P.

Tabla 1: Listado de escuelas sector de Cochamó.

Recinto	Coordenadas		
	Latitud	Longitud	Elevación
Municipalidad	41°39'47,8"	72°17'46,3"	20 m
Repetidor	41°39'55,7"	72°18'8,3"	85 m
Sta. Agueda	41°38'43,9"	72°16'13,3"	11 m
Yates	41°40'22,9"	72°25'43,6"	12 m
J.F.K (Sotomó)	41°41'8,4"	72°23'12,5"	13 m

Tabla 2: Recintos seleccionados.

En base a los puntos de red definidos en la tabla 2, se estructuró la red indicada en la figura 1. Aquí se indica que el terminal de Sotomó actuará como un segundo repetidor.

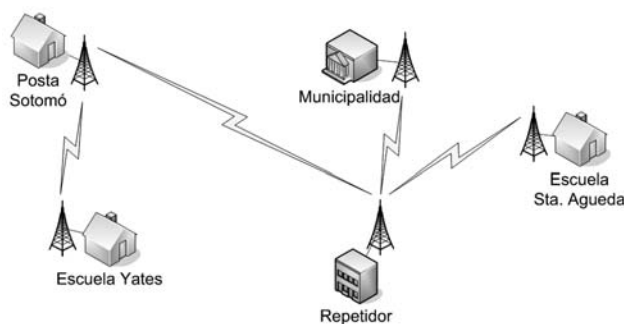


Figura 1: Estructura de red propuesta.

## 2.2 ELECCIÓN DE LOS EQUIPOS DE RED

Los equipos utilizados, cumplen con lo establecido en la resolución exenta n°746 del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, en cuanto a potencia y tipo de enlaces.[1]

En la elección de los routers se tuvo en cuenta que los equipos debían satisfacer las necesidades de dos tipos de nodos inalámbricos: simples o terminales y múltiples o repetidores. Además, debían soportar las duras condiciones climáticas de la zona, con varios grados bajo cero y humedad relativa cercana al 100%; también debían ser compatibles con sistemas operativos Unix, y por último el hardware debía ofrecer la posibilidad de reiniciarse automáticamente si se colgaba o si las conexiones de red se perdían dadas las condiciones de accesibilidad de la zona.[2]

Se experimentó con una solución híbrida de dos equipos: uno más comercial y convencional pensado para nodos terminales, y otro más especializado y potente pensado para nodos repetidores. Los equipos escogidos fueron el Linksys WRT54GL compatible con linux, y la Soekris net4521 (ver figura 2). El WRT54GL es un router inalámbrico convencional que dispone de una conexión de RF con potencia máxima de 250mW.

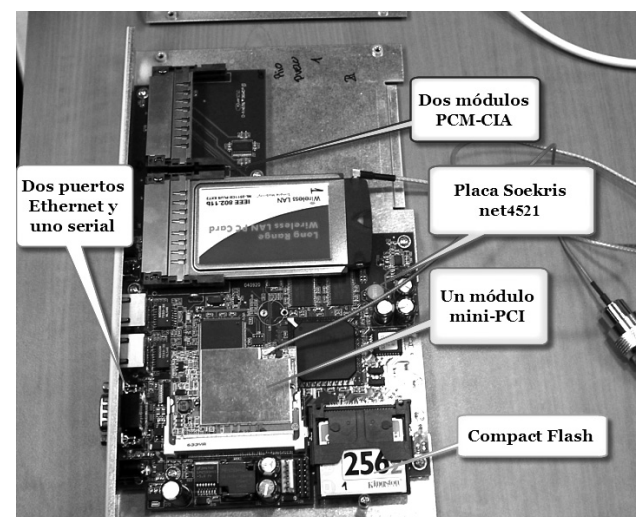


Figura 2: Placa Soekris, interfaces y componentes.

- ▶ HUGO DURNEY W.
- ▶ CÉSAR CASTRO G.
- ▶ ROGER ORTIZ S.

La Soekris net4521 ([www.soekris.com](http://www.soekris.com)) es una placa basada en un procesador x86 marca AMD de bajo consumo. La placa tiene un slot CF para la instalación del sistema operativo, 2 puertos Ethernet, 2 interfaces PCMCIA y 1 interfaz mini-PCI especialmente adaptadas para incrustar las tarjetas inalámbricas que alimentarán a las antenas y recibirán la señal entrante; la capacidad de instalar 3 tarjetas inalámbricas permite utilizar la plataforma Soekris como el núcleo de una estación repetidora de red. Esta placa tiene la posibilidad de realizar funciones de Bridge, Access Point y Router simultáneamente. Las Soekris carecen completamente de subsistemas accesorios como audio y video, pueden alimentarse entre 11VDC y 13VDC bien con transformador DC o con sistema PoE, y tienen watchdog por hardware; otro factor importante debido a la escasez de recursos en algunos lugares es el consumo de energía, que es menor a 7W.

Para optimizar los factores calidad/precio/potencia de salida/sensibilidad se escogieron tarjetas inalámbricas cuya potencia de salida puede variar entre 80mW y 400mW, mientras que su sensibilidad es de aproximadamente -90dB. Este último factor es notablemente superior al común de las tarjetas y permite aumentar la distancia de los enlaces. Las tarjetas cumplen con la norma 802.11b y están elaboradas en base a los chipsets Prism2 y Atheros los cuales son soportados por el S.O. GNU/Linux.

El sistema operativo, basado en GNU/Linux, que se utilizó en las placas Soekris fue el Voyage ([www.voyage.hk](http://www.voyage.hk)). Ésta es una versión reducida de Debian con el mínimo número de paquetes necesarios para otorgar una máxima compatibilidad, preparado para trabajar en modo lectura y de esa manera evitar escrituras indebidas en la CF. Es suficientemente pequeño como para poder instalarse en una CF de 128MB, la cual es instalada posteriormente en la Soekris.

Luego de haber planificado el sistema de direccionamiento IP se procedió a configurar las interfaces de red de estas placas Soekris (establecimientos de educación y repetidores) con dichas direcciones; después se esto se configuró automáticamente las rutas para llegar a redes conectadas directamente a las interfaces de cada Soekris, pero no a aquellas redes que se llega a través

de 2 repetidores (soekris conectadas) o más, ni aquellas para llegar a Internet. Para lograr el enrutamiento entre los distintos puntos, los repetidores deben tener configuradas unas “tablas de rutas” con las lista de todas nuestras subredes y las interfaces que se usarán para llegar a dichas subredes.

### 3. EVALUACIÓN DE ENLACES PROPUESTOS

Para la evaluación de los enlaces propuestos se utilizó el software Radio Mobile el cual basa su funcionamiento en la utilización del algoritmo ITS Irregular Terrain Model y permite trabajar en los modos de operación punto a punto y predicción de área.

A diferencia del software original ITM, Radio Mobile es compatible con las bases de datos de elevación de terreno SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), DTED (Digital Terrain Elevation Data), GTOPO30 (Global Topography Data 30km), GLOBE y BIL (Band Interleave by Line).

#### 3.1 MODELO DE LONGLEY-RICE O ITS IRREGULAR TERRAIN MODEL

El modelo de Longley-Rice ó ITS Irregular Terrain Model, es un modelo de radio propagación de propósito general cuyo rango operación en frecuencia está comprendido entre los 20 MHz y los 20 GHz y puede ser aplicado en una amplia variedad de problemas de ingeniería. El modelo se basa en la teoría electromagnética y en análisis estadísticos de las características de terreno y mediciones de radio. Entrega como resultado el valor medio de la atenuación de la señal de radio como una función de la distancia y la variabilidad de la señal en el tiempo y espacio, permitiendo estimar las características de recepción de la señal necesarias en un radio enlace determinado sobre terreno irregular.[3]

El modelo original fue desarrollado a finales de los años 60 como resultado de la necesidad de mejorar los sistemas móviles de radio y transmisión de televisión. Fue escrito en forma de algoritmo de tal manera de facilitar la programación de software de procesamiento de datos. La versión de uso actual del algoritmo es la versión 1.2.2 mientras que el software original es el ITM del Institute

for Telecommunication Sciences. Este software utiliza la base de datos de elevación de terrenos GLOBE (Global Land One-km Base Elevation).

El modelo permite operar en dos modalidades de trabajo: el modo de predicción de área y el modo punto a punto. El modo punto a punto es capaz de predecir estadísticamente las pérdidas de propagación sobre un trayecto de propagación determinista a partir de los datos característicos de radio y del entorno. El modo de predicción de área opera de similar forma, sin embargo, no trabaja sobre un trayecto de propagación determinista, si no que genera una proyección del área de cobertura de un terminal dado en función de las características de cada terminal y las irregularidades del terreno.

### 3.1.1 VARIABLES DE ENTRADA DEL MODELO ITS.

Las variables de entrada del modelo de Longley-Rice se indican en la tabla 3. En ésta se indican los valores permitidos o los límites para los cuales el modelo ha sido diseñado.[4]

<b>Parámetros del sistema</b>	
Frecuencia	20 MHz a 20 GHz
Distancia	1 km a 2000 km
Altura de antenas	0.5 m a 3000 m
Polarización	horizontal o vertical
<b>Parámetros del entorno</b>	
Variable de terreno irregular $\Delta h$	rugosidad promedio
Constantes eléctricas del terreno	permitividad y conductividad
Refractividad de la superficie	250 a 400 N-unidades
Clima	7 tipos (ver tabla 4)
<b>Parámetros de instalación</b>	
Criterio de posicionamiento	random, careful o very careful
Parámetros estadísticos	0.1% al 99.9%
Fiabilidad respecto a variabilidad de tiempo, locación y situación	

Tabla 3: Parámetros de entrada para el modelo ITM.

Los parámetros del sistema están asociados al conjunto de equipos de radio involucrados y son independientes de las condiciones ambientales.

1. Frecuencia: La frecuencia portadora de la señal transmitida. El modelo ITM es relativamente insensible a la frecuencia, frecuentemente un valor definido puede cubrir un amplio ancho de banda.

2. Distancia: La distancia circular entre dos terminales.
3. Altura de antenas: Corresponde a la altura del centro de radiación por sobre la elevación del terreno, se define en cada terminal.
4. Polarización: La polarización de las antenas puede ser vertical u horizontal. El modelo asume que ambas antenas usan la misma polarización.

Los parámetros del entorno describen estadísticamente las características del lugar en donde operará el sistema. Estos parámetros son independientes del sistema de radio.

5. Variable de terreno irregular  $\Delta h$ : Las irregularidades del terreno que se encuentra entre dos terminales se tratan como una función aleatoria de la distancia entre los terminales. Para caracterizar esta función, el modelo ITM utiliza un único valor de  $\Delta h$  para representar de forma simplificada la altura promedio de las irregularidades en el terreno. Algunos valores sugeridos se indican en la tabla 4.
6. Constantes eléctricas del terreno: La permitividad relativa (constante dieléctrica) y la conductividad de la tierra. Valores sugeridos se indican en la tabla 5.
7. Refractividad de la superficie  $N_s$ : Las constantes atmosféricas y en particular la refractividad atmosférica, deben ser tratadas como funciones aleatorias de posición y tiempo. En la mayoría de los casos esta función aleatoria puede ser caracterizada por un valor único  $N_s$  que representa el valor normal de la refractividad cercana al nivel de la tierra o superficie. Usualmente se mide en N-unidades (partes por millón), valores sugeridos se indican en la tabla 6.

8. Clima: Se describe cualitativamente por un conjunto discreto de etiquetas. Los climas reconocidos actualmente se indican en la tabla 6. En conjunto con  $N_s$ , el clima se utiliza para caracterizar la atmósfera y su variabilidad en el tiempo.

- ▶ HUGO DURNEY W.
- ▶ CÉSAR CASTRO G.
- ▶ ROGER ORTIZ S.

Forma del terreno	$\Delta h$ (m)
Plano o superficie del agua	0
Llanura	30
Colinas	90
Montañas	200
Montañas escabrosas	500
<i>Para un nivel promedio usar <math>\Delta h = 90</math> m</i>	

Tabla 4: Valores sugeridos para el parámetro de terreno irregular.

Tipo de suelo	Permitividad relativa	Conductividad (S/m)
Tierra promedio	15	0.005
Tierra pobre	4	0.001
Tierra buena	25	0.020
Agua dulce	81	0.010
Agua salada	81	5.000
<i>En la mayoría de los casos usar las constantes de tierra promedio</i>		

La forma en que un sistema de radio es instalado en un entorno en particular, induce importantes interacciones entre éstos. En el modelo, los parámetros de instalación intentan caracterizar estas interacciones de tal manera de que puedan ser aplicadas a cada uno de los terminales en un radio enlace.

9. Criterio de posicionamiento: Describe cualitativamente el cuidado tomado en cuenta en la instalación de cada terminal. Este parámetro puede definirse como una de las siguientes etiquetas: random, careful o very careful.

Finalmente, los parámetros estadísticos son aquellos que describen las condiciones estadísticas del escenario planteado. Dichos parámetros se definen como la variabilidad de tiempo, variabilidad de la locación y variabilidad de la situación. La utilización de uno o varios de éstos parámetros y su correspondiente valor necesario en un problema dado, puede variar significativamente en función de las condiciones del terreno y de las características de cada terminal, en la mayoría de los casos estos datos pueden ser omitidos y/o ser reemplazados por valores promedios o estimados.

Clima	Ns (N-unidades)
Ecuatorial	360
Continente subtropical	320
Marítimo subtropical	370
Desierto	280
Continental temperado	301
Marítimo temperado, sobre la tierra	320
Marítimo temperado, sobre el mar	350
<i>Para condiciones promedio usar el clima continental temperado y Ns = 301 N-unidades</i>	

Tabla 6: Valores sugeridos para Ns en función del clima.

### 3.1.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL MODELO

Una vez definidos los valores para los parámetros de entrada, el modelo de terreno irregular realiza estimaciones geométricas sobre el camino de propagación. En el modo de predicción de área por ejemplo, se estima el horizonte radial del área de cobertura.

A continuación, el modelo determina una atenuación de referencia la cual es un valor medio de atenuación, relativo al espacio libre. La atenuación de referencia es tratada por el modelo como una función continua de la distancia como lo indica la figura 3.

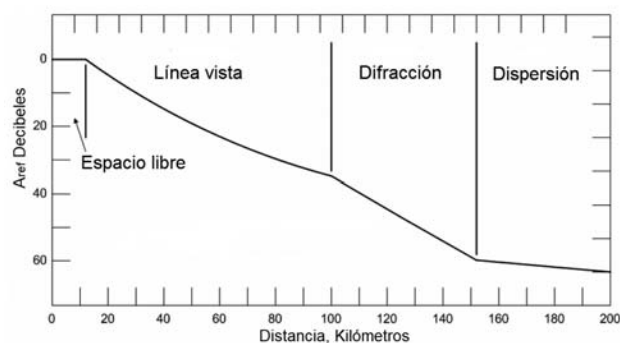


Figura 3: Atenuación de referencia vs. distancia.[4]

En la figura 3 se identifican tres regiones denominadas línea vista, difracción y dispersión. La región de línea vista es aquella en donde la curvatura de la tierra no interrumpe la línea directa de propagación de ondas pero si pueden existir obstrucciones tales como colinas, bosques, etc. La atenuación de referencia se determina como una función logarítmica lineal de la distancia.



En muchos casos, es necesario obtener una media de la atenuación referida a las condiciones climáticas de un lugar durante el transcurso de un año. Para ello, el modelo determina un promedio estadístico de atenuación de referencia para cada uno de los tipos de clima especificados.

Para estos cálculos el modelo utiliza tratamientos teóricos de reflexión sobre terreno accidentado, refracción a través de una atmósfera estándar, difracción alrededor de la tierra y sobre obstáculos agudos, y dispersión troposférica. Esta combinación de teoría elemental y datos experimentales por una parte, dan origen a un modelo semi-empírico acorde a la realidad física y a ciertos valores de referencia de los parámetros y por otra cumple con las leyes físicas lo suficientemente bien como para extrapolar éstos a partir de los valores de referencia con un buen grado de fiabilidad.

### 3.2 DEFINICIÓN DE LOS PARÁMETROS DE ENTRADA

Las variables de entrada seleccionadas se han definido en forma general para todos los enlaces de acuerdo al clima del lugar y se indican en la tabla 7.

Parámetros del sistema	
Frecuencia	2.40 a 2.48 GHz
Distancia	0.7 km a 10 km
Altura de antenas	0.5 m a 3000 m
Polarización	horizontal o vertical
Parámetros del entorno	
Variable de terreno irregular $\Delta h$	determinada por el software
Constantes eléctricas del terreno	para tierra promedio y agua salada.
Refractividad de la superficie	301 N-unidades
Clima	continental templado
Parámetros de instalación	
Criterio de posicionamiento	random
Parámetros estadísticos	
Variabilidad de tiempo, locación y situación	10%

Tabla 7: Variables definidas.

Adicionalmente a los parámetros de entrada definidos en la tabla 7, Radio Mobile requiere la definición de cada uno de los elementos o terminales que forman parte de la red. Para ello, se han establecido las características físicas de montaje, orientación y radio de los terminales que se indica en la tabla 8. Los datos de potencia

y ganancia de cada uno de los terminales se han definido de acuerdo a las características de los equipos utilizados. Además, según la resolución exenta n°746, se establece que en las regiones VII, VIII, IX y X se podrá hacer uso de la banda 2400-2483,5 MHz por medio del otorgamiento de licencias y con una potencia isotrópica máxima de 4W en enlaces punto-multipunto.

### 3.3 RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN

La figura 4 es una imagen topográfica que se obtuvo a partir de la base de datos SRTM3, incluye los datos de elevación de terreno con los cuales Radio Mobile determina la variable de terreno irregular  $\Delta h$ , para estimar las pérdidas de propagación de cada uno de los enlaces. En la figura 5 se observa una imagen aérea (aérea) de la zona. En ambas imágenes se indica la posición de cada uno de los puntos que forman parte de la red mientras que el color del enlace indica si existe línea vista y si se cumplen los requerimientos de sensibilidad de la tabla 8.

Nº Enlace	Terminal	Ganancia Ant. (dBi)	Altura (m)	Azimut (°)	Potencia (mW)	Sensibilidad (dB)	Distancia (km)	Pérdidas con. (dB)	Pérdidas cable (dB/m)
1	Municipalidad	24	7	219	200	-80	0,82	0,5	0,2
	Repetidor	24	7	39	200	-90		0,5	0,2
2	Repetidor	12	7	50	200	-90	3,46	0,5	0,2
	Sta. Agueda	12	8	230	200	-80		0,5	0,2
3	Repetidor	24	7	265	1000	-90	10,53	0,5	0,2
	Sotomó	24	6	85	1000	-80		0,5	0,2
4	Sotomó	12	6	112	200	-90	3,76	0,5	0,2
	Yates	12	5	292	200	-90		0,5	0,2

Tabla 8: Resumen de datos de cada terminal.

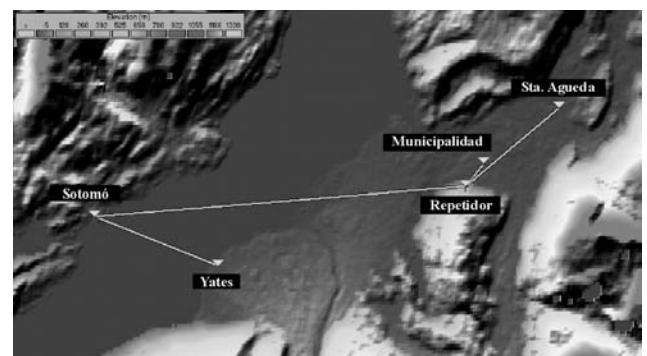


Figura 4: Proyección de los enlaces, vista SRTM3.

- ▶ HUGO DURNEY W.
- ▶ CÉSAR CASTRO G.
- ▶ ROGER ORTIZ S.

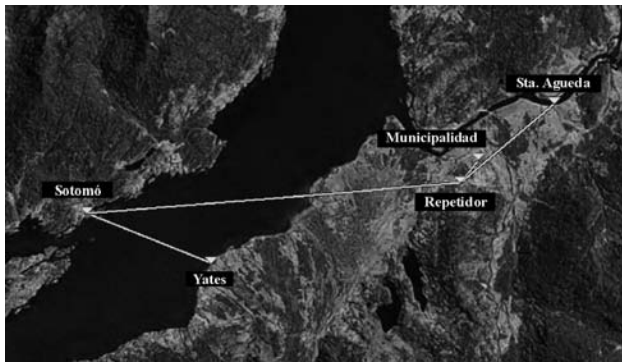


Figura 5: Proyección de los enlaces, vista aérea.

En la figura 6 de (a) a (d) se observan los perfiles topográficos del terreno para cada uno de los enlaces. En dichas imágenes se indican además los siguientes datos de interés: pérdidas de propagación, distancia entre los terminales, nivel de recepción estimado en el receptor y la peor zona de Fresnel afectada por las irregularidades del terreno. Estos datos y el color verde de la línea vista indican la factibilidad del enlace, de no ser posible un enlace, la línea vista aparece en color rojo y en caso de presentar dificultades por la zona de fresnel o reflexiones, se indica en forma segmentada. En los cuatro enlaces propuestos se observa que resultan factibles de realizar sin interferencias ni obstrucciones en la línea vista.

#### 4 CONCLUSIONES

Entre las conclusiones destacables de esta primera etapa, se puede decir que fue muy exitosa en términos del desarrollo técnico al haber logrado con limitados recursos, establecer y verificar el funcionamiento de radioenlaces de largo alcance y accesos a Internet con una velocidad de hasta 700 Kbps a través de sistemas que incluso contaban con antenas desarrolladas por alumnos de Ing. Electrónica de la UTEM, en nuestros laboratorios y que previamente habían sido aplicadas en el Proyecto Globo-Antena. Respecto a las características técnicas del proyecto, de los dos tipos de router estudiados e instalados, el más adecuado sin duda resultó ser la plataforma Soekris con tarjetas de alta potencia, dada su gran estabilidad, flexibilidad, potencia y robustez, además de su bajo consumo. Destaca la capacidad

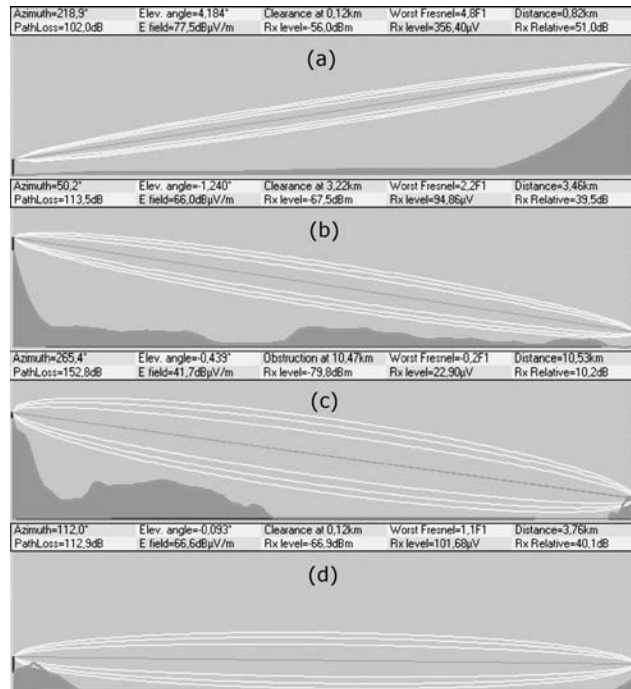


Figura 6: Perfil topográfico de los enlaces implementados. (a) Municipalidad – Repetidor; (b) Repetidor – Sta. Agueda; (c) Repetidor - Sotomó; (d) Sotomó – Yates.

de funcionar como repetidor modular (cada Soekris net4521 permite montar hasta tres interfaces inalámbricas). Cabe mencionar que una de las limitantes en los enlaces de larga distancia, independiente de la potencia de transmisión, es un parámetro de configuración de la interface inalámbrica conocido como ACKtimeout. El valor por defecto de este parámetro limita la distancia de los enlaces a un máximo de 20km. A distancias mayores, la pérdida de paquetes de información por tiempo de espera agotado se incrementa deteriorando la calidad del enlace.

Entre las debilidades observables, destaca el hecho de que la red planteada no es tipo GRID y por tanto, tiene la desventaja de depender físicamente de la red troncal principal entre la Municipalidad y el Repetidor, en caso de fallar este enlace, todos los terminales perderán el acceso a Internet. Otro inconveniente detectado es que las bases de datos de elevación SRTM3, se obtienen formando promedios de la elevación de terreno tomando como base, una matriz de 3x3 celdas de 30 x 30 m



c/u., de esta manera, irregularidades en el terreno que ocupen un espacio menor a una celda, quedan promediadas con la elevación de las otras celdas. Este problema se identificó debido a la existencia de un pequeño islote ubicado en el estuario de Reloncaví cerca del sector de Sotomó y que no aparece reflejado en las bases de datos. Este islote no permitía el establecimiento de línea vista en el enlace 3 (Repetidor - Sotomó) por lo que se tuvo que corregir la posición final del terminal ubicado en Sotomó.

Finalmente, los beneficios que se podrán alcanzar a través de la continuidad de ese trabajo, tienen que ver con definir el reestudio de la solución de la red y plantear la malla de enlaces completa para una mayor cantidad de escuelas, diversificando la fuente de acceso a Internet (conseguir accesos independientes de la Municipalidad) y uniformando el uso exclusivo de nodos inalámbricos idénticos todos basados en los sistemas con tarjetas integradas. El alto impacto que este tipo de proyecto lleva asociado se debe a que en el ámbito rural las escuelas constituyen centros integrales de desarrollo social, cuya conectividad permite suponer un beneficio que se amplía a toda una comunidad, más allá de las evidentes prestaciones y valor que esto tiene en el ámbito de la educación.

#### AGRADECIMIENTOS

El proyecto “Desarrollo de las telecomunicaciones en zonas rurales y asentamientos indígenas de alto aislamiento en el sur de Chile” fue presentado a la convocatoria 2006 del Centre de Cooperació per al Desenvolupament (CCD) de la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC). Su financiamiento y desarrollo colaborativo contó además con los importantes aportes de la Universidad Tecnológica Metropolitana (Depto. de Electricidad), y de la Municipalidad de Cochamó, X región. Se destaca además la valiosa colaboración de la ONG internacional Enlace Hispano Americano de la Salud ([www.ehas.org](http://www.ehas.org)), quienes pusieron a nuestra entera disposición una amplia base de conocimientos y experiencia obtenida a partir de sus proyectos de Telemedicina Rural especialmente en regiones aisladas del Perú.

#### REFERENCIAS

1. Resolución Exenta N°746, fija norma técnica para el uso de la banda de frecuencias 2.400 – 2.483,5, Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, 11 de Junio de 2006.
2. EHAS, “Memorias I Foro Iberoamericano de Telemedicina Rural,” 27 febrero al 1 de marzo de 2006 en Cuzco, Perú.
3. M. M. Wiener, “Use of the Longley-Rice and Johnson-Gierhart Tropospheric Radio Propagation,” IEEE Journal on selected areas in Comm., Vol. SAC-4, NO. 2, March 1986.
4. G. A. Hufford, A. G. Longley, W. A. Kissick, “A guide to use of the ITS irregular terrain model in the area prediction mode,” U.S. Dep. Commerce, Boulder, CO, NTIA Rep. 82-100, Apr. 1982.

#### RESEÑA BIOGRÁFICA

**H. Durney W.** Académico del Departamento de Electricidad de la Universidad Tecnológica Metropolitana (Chile), donde el año 1999 obtuvo su titulación en el área de Ingeniería Electrónica. Entre los años 2000-2004, completa sus estudios de Doctorado en Teoría de la Señal y Comunicaciones en la Universidad Politécnica de Cataluña (España). Sus áreas de interés principal son el procesado digital de señales y la electrónica de radio-comunicaciones.

**C. Castro G.** Estudiante memorista de Ingeniería Electrónica en la Universidad Tecnológica Metropolitana. Desarrolló su proyecto final de carrera en el área de tecnologías integradas para radiocomunicación digital.

**R. Ortiz S.** Estudiante memorista en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Telecomunicación de Barcelona (ETSETB) de la Universidad Politécnica de Cataluña. En el año 2000 obtuvo el título de ingeniero técnico de Telecomunicaciones por la Universidad de Alicante, España.  
A inicios de 2012 fallece tras una larga lucha contra el cáncer.