

Mediciones de Larga Distancia en Redes Telefónicas Celulares en la Provincia de Santiago del Estero

Luis Rodrigo Ortiz¹, Luis Orlando Umblandt² & Fidol Joaquín Parra³

(1) *Facultad de Matemática Aplicada, Universidad Católica de Santiago del Estero*
rodrigoortiz285@hotmail.com

(2) *Facultad de Matemática aplicada, Universidad Católica de Santiago del Estero*
lumlandt@yahoo.com.ar

(3) *Facultad de Matemática Aplicada, Universidad Católica de Santiago del Estero*
fparra@ucse.edu.ar

RESUMEN: En el presente trabajo se resumen mediciones en radiofrecuencia en larga distancia de señales de telefonía celular digital y en base a las mediciones realizadas, se confeccionan mapas de alcance de tales sistemas, para los distintos servicios, ya sea voz, mensajes de texto o multimedia. Se concluye que el sistema telefónico celular emite energía suficiente para abastecer al 60 % de la superficie de la provincia con radios de cobertura de 30 km desde las estaciones base relevadas y si se toma en cuenta los enlaces favorables con las mediciones de campo realizadas, se llega al 82 % de la superficie total de Santiago del Estero

1 INTRODUCCION

Las comunicaciones móviles se caracterizan por tener un crecimiento significativo del actual mercado globalizado. Los sistemas de comunicaciones móviles han conseguido un contundente éxito en su implantación, habiéndose alcanzado impensables niveles de penetración en la sociedad. Estos sistemas de comunicación evolucionan día tras día, (Holma, 2002). Entre los limitantes de dicha evolución, se advierte una limitación causada por el alcance en la cobertura donde operan los servicios que ofrecen las compañías telefónicas móviles. Este inconveniente es muy visible en provincias de gran extensión y población dispersa como Santiago del Estero.

Originalmente, la telefonía celular era analógica y operaba en las bandas de 850MHz y 1900MHz. Los sistemas analógicos han sido reemplazados por sistemas digitales en el presente. En el cambio de tecnología se ha perdido la gran cualidad de los sistemas analógicos que eran la de proveer comunicación a las zonas rurales, llegando a alcances de 70 Km. de la radio base

El sistema digital, GSM, conocido como 2G y los nuevos sistemas 3G UMTS, en condiciones normales cubren un círculo aproximado de 10 kilómetros y 5 kilómetros de radio respectivamente. Como condiciones normales se considera que el móvil del usuario se encuentra a una altura entre 1,5 y 2 metros del suelo, no tiene elementos de adaptación ni de ganancia externos

y se encuentra en línea de vista o con obstáculos suaves hacia la estación base.

Tomando en cuenta las coberturas de las “radio bases” instaladas en el territorio de la provincia, se advierte que solo dispondrían de servicio 1/8 parte de la población. Siendo las características de propagación y banda de frecuencia las mismas en los sistemas analógicos que en los digitales, se investiga que condiciones son las que han influido en la disminución de la cobertura en los nuevos sistemas de telefonía móvil.

Se analizaron los enlaces con los que cuentan las compañías de telefonía celular mediante la aplicación de un diseño exploratorio descriptivo, con la finalidad de establecer el tipo de tecnología adaptada que se necesita implementar a diferentes distancias desde la estación radio base. Para ello se realizó un trabajo de campo donde se toma en cuenta el alcance de la estación base, la influencia del relieve como así también el servicio brindado por las diferentes empresas.

2 ANALISIS DE LA TECNOLOGIA Y PARAMETROS DE DISEÑO

A continuación se explican las principales características de los sistemas a utilizar en el experimento

2.1 El sistema celular

Los sistemas celulares se basan en la división del área de cobertura de un operador en lo que se denomina células. Estas células se caracterizan por su tamaño que viene determinado por la potencia del transmisor, pero de un modo muy

particular, ya que lo que se persigue siempre en los sistemas celulares es que la potencia de transmisión sea lo más baja posible a fin de poder reutilizar el mayor número de frecuencias. Cuanto mayor el número de frecuencias libres, mayor es el número de usuarios que pueden hacer uso del sistema ya que cada uno puede usar una frecuencia sin interferir en la de otro usuario (realmente no se utiliza una frecuencia por usuario pero la idea general es esta). De este modo todas las bandas de frecuencias se distribuyen sobre las células a lo largo del área de cobertura del operador de manera que todos los canales de radio se encuentran disponibles para ser usados en cada grupo de células denominado cluster. Si se emitiera una señal con una potencia superior no habría posibilidad de reutilización de frecuencias, ya que se podría interferir en otras células adyacentes en las frecuencias disponibles.

2.2 Características de Diseño de una Célula

Una célula debe incluir en su diseño los siguientes parámetros:

- Tamaño físico
- Tamaño de la población
- Patrones de tráfico de la zona urbana

En la Tabla 1 se resumen los diferentes tipos de células

Tabla 1. Distintos tipos de células

Nombre	Tamaño	Cobertura	Trafico
Macro célula	Grande	Grandes aéreas	Bajo
Micro célula	Pequeño	Alta densidad de población	Muy alto
Célula selectiva	Pequeño	Sectores menos de 360 grados	Alto
Célula sombrilla	Muy Grande	Muchas micro células	Muy alto

Un estudio demográfico determinara la distribución de la población a cubrir. Mientras que un estudio más detallado en cuanto a movilidad, características de la población y tipo de área urbana será suficiente para determinar los patrones de tráfico en las diferentes zonas urbanas. Ejemplo, barrios residenciales, centros comerciales, parques industriales, etc.

2.3 Avance Temporal

El Avance temporal (Time Advance en ingles) es un sistema de sincronización entre la estación base (BS) y la estación móvil (MS) necesario en las redes celulares que utilizan ventana de tiempo (time slot) como método de acceso al medio y tienen una gran cobertura.

En estas redes cada usuario tiene asignada una ventana de tiempo y debe transmitir periódicamente durante un intervalo de tiempo que le ha asignado previamente la BS. Debido a esta multiplexación en tiempo, la BS recibe señales muy próximas temporalmente entre sí de diferentes terminales, por lo cual, es necesaria una precisa sincronización (3GPP TS 05-10, 2008)

La comunicación entre MS y BS se realiza mediante la transmisión de ráfagas de información como se muestra en la Figura 1.

RÁFAGA DE ACCESO (Access Burst)				
TB	SINCRONIZACIÓN	DATOS	TB	TIEMPO DE GUARDA
8	41	36	3	68.25

RÁFAGA NORMAL (Normal Burst)					
TB	DATOS	FORMACIÓN	DATOS	TB	TIEMPO DE GUARDA
8	58	26	58	3	8.25

Figura 1. Tramas de datos en redes celulares

Es esencial que la parte de la ráfaga que contiene los datos (información útil) no sobrepase el time slot, puesto que en ese caso se produciría una colisión entre datos de distintos terminales y se perderían ambos paquetes. Con el fin de cubrir pequeños retardos, se introduce al final de cada paquete un período sin información, llamado intervalo de guarda, que no contiene información útil y por lo tanto puede llegar fuera de los límites del slot correspondiente. No obstante, a veces este margen no es suficiente, ya que el tiempo de propagación de la señal varía en función de la distancia entre el terminal y la BS provocando un retardo variable. La figura 2 muestra las tres posibles situaciones que pueden suceder: recepción perfecta, recepción con un retraso tolerable y recepción errónea debido al retraso. El avance temporal en síntesis, adelanta la transmisión de la trama de datos para que el retardo en la trayectoria se anule y el no se pierda la sincronización.



Figura 2. Tramas de datos sin retardo, retardo aceptable y retardo destructivo

2.4 Determinación del Avance Temporal

El avance temporal se determina con la siguiente secuencia de señales entre la estación base y la estación móvil:

- El terminal envía una ráfaga de acceso (access burst) a la estación base (BS).
- La estación reconoce el terminal y le asigna un time slot disponible para que pueda retransmitir.
- El terminal se sincroniza con la BS y manda otro access burst de confirmación durante el time slot asignado por la BS.
- La BS calcula el tiempo de propagación tomando la diferencia temporal que existe entre el instante en que debería recibir la ráfaga y el instante en el que realmente la recibe.

La BS envía a cada terminal un parámetro TA (time advance) acorde al tiempo calculado. Cada terminal avanza su tiempo de transmisión para que su señal llegue a la BS totalmente sincronizada, compensando el retardo de propagación.

Una vez establecida la conexión, como la posición del terminal puede variar, la BS mide continuamente el tiempo de retardo y el terminal actualiza el parámetro TA con el valor adecuado en cada momento.

Por ejemplo, en sistema GSM con tasa de transmisión de datos de 270.833 kilo bits por segundo, la duración de un bit es de 3.69 μ segundos. El campo TA es de 6 bits por lo que puede tomar valores comprendidos entre 0 y 63. Por cada 3.69 μ seg de retardo, TA se incrementa una unidad y el terminal empieza su transmisión el valor $TA \cdot 3.69 \mu$ seg antes del tiempo que correspondería cuando TA es 0.

Al relacionar TA con la distancia entre la BS y la MS, considerando la velocidad de transmisión en el espacio como $3 \cdot 10^8$ m/seg se obtiene un retardo de 236,16 μ seg lo que da una distancia máxima de 35.424 metros que es el límite superior de una transmisión en GSM

2.5 Calculo de potencia del enlace

La pérdida en trayectoria por el espacio libre se define como la pérdida de potencia que sufre una señal de radio al propagarse en línea recta por el vacío, según la ecuación (1):

$$L(\text{dB}) = 32.4 + 20 \log f + 20 \log D \quad (1)$$

Donde f es la frecuencia de transmisión en MHz y D la distancia en km. El balance de potencia se muestra en la Figura 3. La potencia de recepción del enlace se calcula con la ecuación (2):

$$Pr = Tx - Lt + At - Lp + Ar - Lr \quad (2)$$

Donde Pr es la potencia de recepción, Tx es la potencia de transmisión, Lt la pérdida en la línea

de transmisión, At es la ganancia de la antena de transmisión, Lp la pérdida en el espacio libre, Ar la ganancia de la antena de recepción y Lr la pérdida de línea del receptor.

En la Figura 3 se observa el parámetro Mu , margen de umbral, que es la diferencia entre la potencia de recepción y el umbral de recepción o sensibilidad del receptor.

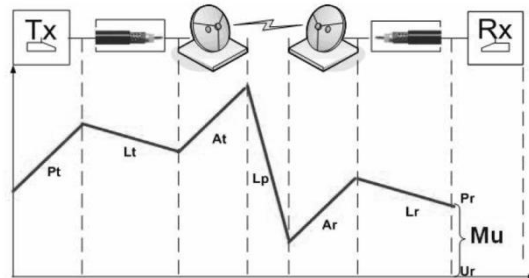


Figura 3. Esquema de ganancias y atenuaciones en un enlace de RF

2.6 Margen de Desvanecimiento

Las radiocomunicaciones entre lugares remotos, sean de tierra o de tierra a satélite, requieren la propagación de señales electromagnéticas por el espacio libre. Al propagarse una onda electromagnética por la atmósfera terrestre, la señal puede tener pérdidas intermitentes de intensidad, además de la pérdida normal en la trayectoria. A esta variación en la pérdida de la señal se llama desvanecimiento y se puede atribuir a perturbaciones meteorológicas como lluvia, nieve, granizo, etc., a trayectorias múltiples de transmisión y a una superficie terrestre irregular. Para tener en cuenta el desvanecimiento temporal, se agrega una pérdida adicional de transmisión a la pérdida en trayectoria normal. A esta pérdida se le llama margen de desvanecimiento, se calcula con la ecuación (3) (Tomasi, 2003):

$$Fm = 30 \log D + 10 \log(6ABf) - 10 \log(1 - R) - 70 \quad (3)$$

Donde D es la distancia en km, f frecuencia en GHz, R factor de confiabilidad (entre 0 y 0.9999), A factor de rugosidad del terreno, B factor de probabilidad atmosférica

2.7 Zonas de Fresnel

Las zonas de Fresnel son volúmenes geométricos entre las antenas del receptor y del transmisor, como consecuencia de la difracción de los frentes de ondas. Las coronas circulares concéntricas determinadas por los rayos difractados se suman en fase y en contrafase en forma alternada.

En la Figura 4 se muestra un esquema de la zona de Fresnel.

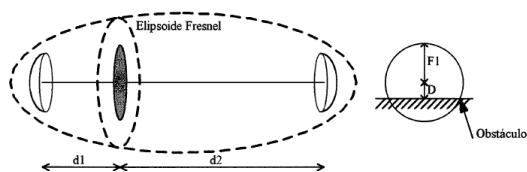


Figura 4. Zonas de Fresnel

Dentro del elipsoide de revolución, la primera zona de Fresnel se caracteriza por el radio F_1 a una determinada distancia de la antena (Sendin Escalona, 2004).

En la Figura 4 se observan los parámetros de distancia d_1 y d_2 que están relacionados por la siguiente ecuación:

$$F_n = 550 \cdot \sqrt{\frac{Nd_1d_2}{f(d_1+d_2)}} \quad (4)$$

La ecuación (4) indica la relación entre los distintos parámetros, donde las distancias están en kilómetros, la frecuencia en MHz y N es el número del elipsoide lo que resulta un valor F_n en metros. F_1 se obtiene para $N = 1$.

Un enlace puede presentar una línea de vista (LOS) o una línea con obstáculos (NLOS). Lo más importante en el cálculo es garantizar que el parámetro F_1 de la primera zona de Fresnel, tenga al menos un 60 % libre, caso contrario existirá una reducción significativa de la intensidad de la señal.

3 INSTRUMENTAL Y METODOS DE MEDICION

3.1 Instrumental de Medición

En la Tabla 2 se resume el instrumental utilizado en las mediciones de campo. Se emplearon diferentes tecnologías para determinar la factibilidad de los enlaces. Se utiliza tecnología de bajo costo e implementación fácil y también tecnología específica y de envergadura. Los terminales móviles son estándares. Celular de 0.6 vatios y teléfono fijo de 3 vatios. Notebook con modem inalámbrico para transmisión de datos 2G y 3G.

3.2 Método 1: Terminal móvil conectado a una antena de alta ganancia

El terminal móvil se conecta a una antena de alta ganancia, ubicada sobre un mástil elevado, con el objeto de aumentar los niveles de señal en la estación móvil, como se muestra en la Figura 5. Con este método se prueba la cobertura cuando el móvil pierde la señal.

Tabla 2. Instrumental de Medición de enlaces

Instrumental	Descripción
Escáner portátil AOR 8200	Intensidad de señales radioeléctricas Rango 500 kHz – 2 GHz
Antena Yagi Doble Banda	Aptas para las frecuencias 850 MHz y 1900 MHz Ganancia: 13 dB
GPS Garmin Nuvi	Posición: latitud, longitud Orientación geográfica y altura sobre el nivel del mar
Terminales Móviles	Móvil de 0.6 vatios De escritorio de 3 vatios

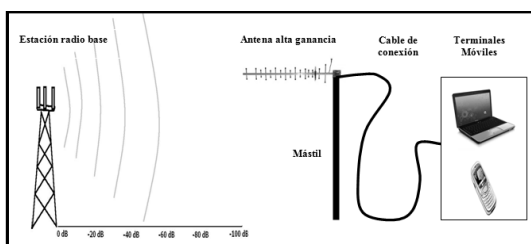


Figura 5. Terminal conectado a una antena de alta ganancia

3.3 Método 2: Repetidor pasivo

Se utiliza para redireccionar la señal pero sin mejorar ni amplificar el nivel de ganancia. Se utiliza en zonas con obstrucciones de terreno. La disposición del equipamiento se muestra en la Figura 6.

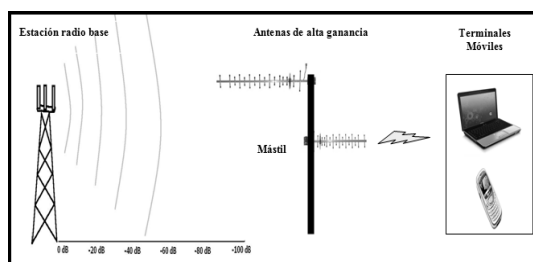


Figura 6. Repetidor pasivo para eliminar obstáculos

3.4 Método 3: Repetidor activo

Un repetidor activo mantiene la señal de recepción separada de la de transmisión suprimiendo toda señal indeseable (ruido, interferencia). El repetidor controla el nivel de la señal para luego amplificarla y transmitirla. Su aplicación en enlaces muy largos resultó de gran utilidad. Su desventaja es el costo elevado. La disposición del equipamiento se muestra en la Figura 7.

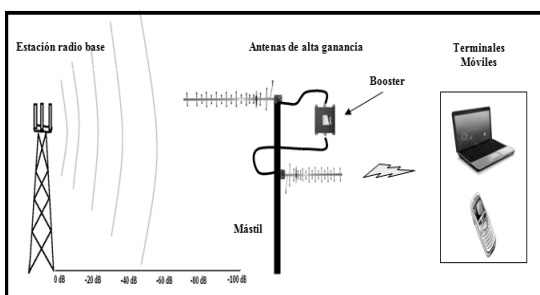


Figura 7. Repetidor activo de largo alcance

3.5 Nivel de recepción del terminal móvil

En un terminal móvil, el usuario comprueba el nivel de señal mediante la visualización en la pantalla, de una escala de barras, que le indica en qué nivel está la potencia recibida del equipo. La potencia se expresa en dBm, y si esta se encuentra comprendida en un rango entre los -50dbm y -100dbm aproximadamente, se podrá decir que el equipo recibe niveles de señal para su operación. En el caso que la señal recibida se encuentre por debajo de los -100dbm (demasiado débil), se presentan problemas tales como mucho ruido en la señal, lo que influye en problemas como errores de símbolo, errores de bit, tramas no recibidas, etc., suficiente para que logre la caída de la llamada.

En la Tabla 3 se resumen los parámetros para discriminar los niveles de recepción. La mínima recepción de señal para el funcionamiento del terminal móvil es a los -100dBm. Menos de ese valor la señal se degrada exponencialmente hasta que el equipo se desconecta de la red. El equipo no puede superar una potencia máxima de +23dBm.

Tabla 3. Niveles de Recepción de terminales móviles

Calidad de Señal	Nivel Rx	Nivel (dBm)
Buena	Alto	-50 a -75
Aceptable	Medio	-75 a -85
Débil	Bajo	-85 a -95
Esporádica	Muy bajo	-95 a -100
Sin Red	Sin señal	< -100

4 SOFTWARE DE SIMULACION Y CALCULO

El software Radio Mobile es un software que está basado en el modelo de propagación de Longley-Rice. El funcionamiento de Radio Mobile es a través de mapas topográficos de las diferentes zonas del mundo que incluyen datos digitales de elevación del terreno, estos mapas son incluidos

en el programa generando mapas virtuales, sobre los cuales se efectúan los diferentes análisis que permiten determinar parámetros como la cobertura, los posibles niveles de señal en los diferentes partes de la trayectoria, si existe o no línea de vista entre el transmisor y el receptor, también permite observar vistas en 3D. Radio Mobile puede predecir el comportamiento de un radioenlace entre dos sitios dados. Para ello realiza la simulación del enlace tomando en cuenta:

- Las características de los equipos de radio
- La naturaleza del terreno
- La teoría de propagación de ondas de radio usando el modelo Longley-Rice

Es la Figura 8 se observa una zona en estudio mediante Google Earth. El usuario está ubicado en la Escuela No 359 en el paraje San Isidro y la estación base está ubicada en la ciudad de Pozo Hondo.

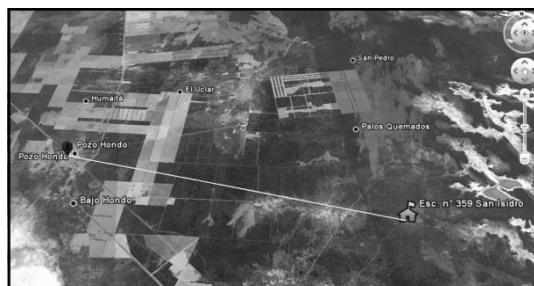


Figura 8. Foto satelital de una zona de estudio

La Figura 9 muestra la característica del terreno entre receptor y transmisor obtenida con Radio Mobile para la zona de estudio. Se observa que entre ambos, existe una elevación que obstaculiza la línea de vista LOS a aproximadamente 6,7 kilómetros del transmisor

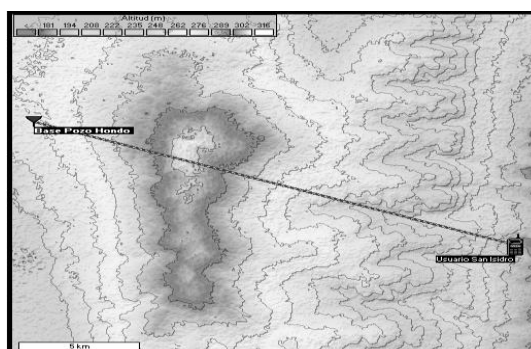


Figura 9. Perfil del terreno entre transmisor y receptor

La Figura 10 muestra el perfil del enlace entre transmisor y receptor. Se observa que el elipsoide Fresnel está obstruido en su mayor parte por el relieve del terreno

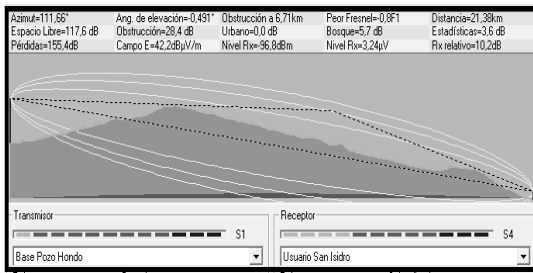


Figura 10. Perfil del enlace entre Rio Hondo y paraje San Isidro

5 PRINCIPALES RESULTADOS

A continuación se describe la metodología para obtener enlaces positivos entre móviles a muy larga distancia.

El software Radio Mobile traza un perfil geográfico o corte transversal de la superficie de la tierra, teniendo en cuenta curvas de nivel y coberturas terrestre con los que es posible visualizar los obstáculos que enfrentará la onda radioeléctrica y en base al perfil trazado, calcular cual es la mínima altura que debe tener la antena del usuario para lograr ver en el horizonte la antena de la estación base y también como están los radios de Fresnel que son caminos alternativos que puede seguir la onda. El simulador tiene también en cuenta la atenuación en el espacio libre y la sensibilidad del receptor. Esto permitirá seleccionar el instrumental para realizar el enlace.

5.1 Usuarios muy distantes con enlaces de radio favorables

Las condiciones favorables deben estar todas presentes para un enlace exitoso. Estas condiciones son:

- Relieve: Debe haber una línea de vista entre terminal y estación base
- Configuración de la radio base para aceptar señalización y datos provenientes de largas distancias
- Nivel de recepción de señal: el terminal debe tener una mayor ganancia mediante la instalación de equipos de alta potencia, ya sea usando amplificadores o aumentando la altura de las antenas en la estación base y el terminal móvil

En la Figura 11 se observa el enlace entre la población Sol de Julio y el paso La Cina sobre el Rio Dulce, libre de obstáculos geográficos. La distancia del enlace es de 68 km.

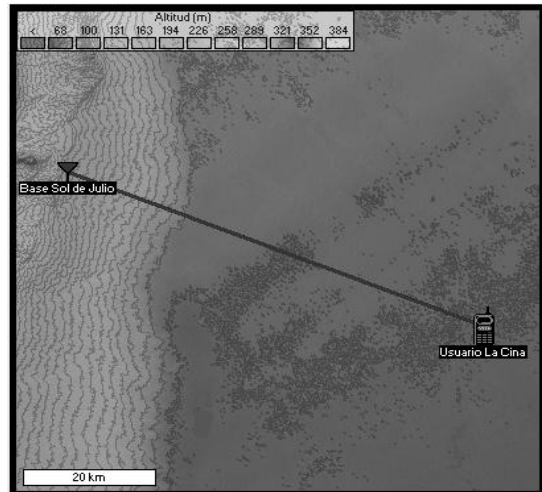


Figura 11. Relieve del enlace Sol de Julio paso La Cina

En la Figura 12 Se observa el enlace de radio mediante la simulación, constatándose que hay una línea de vista LOS entre transmisor y receptor y una altura de antena de 10 metros en el receptor.

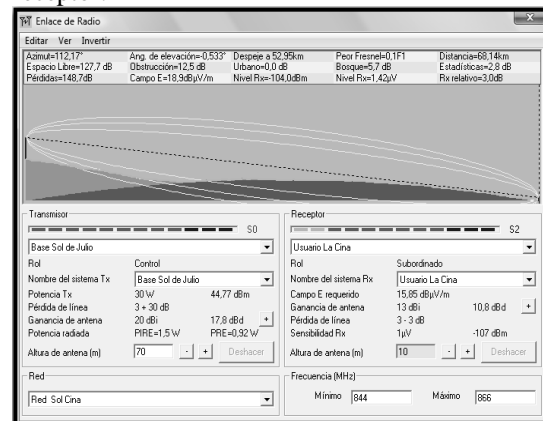


Figura 12. Datos de simulación del enlace Sol de Julio paso La Cina

Los parámetros obtenidos fueron los siguientes:

- Nivel de señal medido :87.3 dBm
- Llamada en condiciones adecuadas con esporádicas fallas
- SMS: funcionamiento correcto con retardo en la recepción
- Recepción de datos usando GPRS con fallas
- Repetidor activo: Debe instalarse

En la Figura 13 se observa el relieve en un enlace desde Villa Atamisqui hacia dos ubicaciones situadas al sur, paraje El 49 y poblado Chilca Juliana. El enlace Villa Atamisqui –El 49 tiene una distancia de 65 km

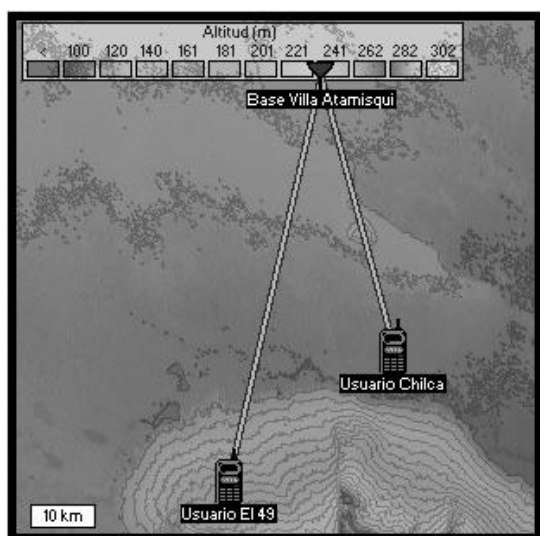


Figura 13. Relieve del Enlace Villa Atamisqui – El 49

En la Figura 14 se observa el enlace de radio mediante simulación entre Villa Atamisqui y el paraje El 49, constatándose línea de vista entre usuario y estación base. Los parámetros obtenidos fueron los siguientes:

- Nivel de señal: 85.7 dBm
- Llamada en condiciones adecuadas con esporádicas fallas
- SMS: funcionamiento correcto con retardo en la recepción
- Recepción de datos usando GPRS con fallas
- Repetidor activo: debe instalarse

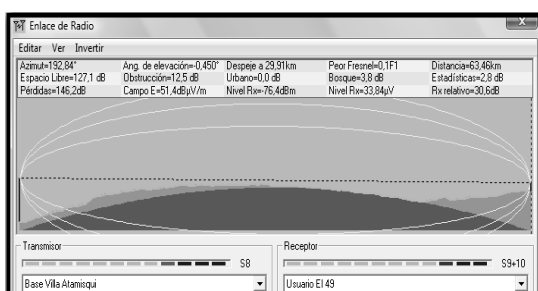


Figura 14. Enlace Villa Atamisqui – El 49

Para los experimentos a distancias mayores a 45 km se utilizaron repetidores activos como los mostrados en la Figura 7.

De acuerdo a lo explicado en el apartado 2.4, mediante el uso del avance temporal TA, se conseguiría un enlace de 35 km en GSM. Si a esta técnica se le agrega el Time Slot configurado para 4 canales en vez del estándar 8 canales, se duplicaría el tiempo de escucha de la estación

base y por ende la distancia, es decir se podrían tener enlaces de 70 km. Los resultados de los distintos experimentos en condiciones favorables determinaron que a 65 km ya el sistema no funciona correctamente para la transmisión de datos. Se espera que en lugares muy alejados de las estaciones base, lugares inhóspitos, sea suficiente el poder realizar una llamada de voz o enviar un mensaje de texto.

5.2 Usuarios distantes con enlaces de radio favorables

En el rango 30 km a 45 km se realizaron múltiples experimentos, lográndose enlaces exitosos. Se sintetizan los resultados en la Tabla 4

Tabla 4. Enlaces de largo alcance 33 km a 45 km

Enlace	Distancia [Km]	Voz	SMS	Datos Navegación
RN 64- Sgo. del Estero	33	Ok	Ok	Regular
RN 9 – V. Atamisqui	33.5	Ok	Ok	Regular
La Cañada – Fernández	26	Ok	Ok	Regular
Río Saladillo - Atamisqui	45,5	Ok	Ok	Lenta

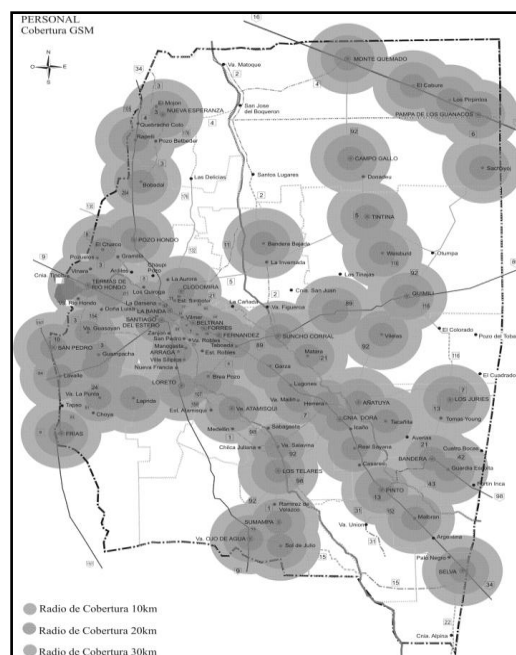


Figura 15. Cobertura del sistema telefónico celular a 1, 20 y 30 km

En la Figura 15 se muestra un mapa completo de la provincia de Santiago del Estero, con la cobertura a 10 km, 20 km y 30km, en distintos matices. Se observa que con una cobertura de 30 km desde la radio base, se tiene un 60 % de la superficie de la provincia cubierta.

En la Figura 16 se muestra un mapa completo de Santiago del Estero, con coberturas de 40, 50 y 60 kilómetros desde las estaciones base relevadas. Se observa que con una cobertura de 60 km se tiene un 82 % de la superficie total cubierta. Se debe tener en cuenta que un 100 % de cobertura no sería útil puesto que la provincia tiene un 9 % de superficie inhabitable.

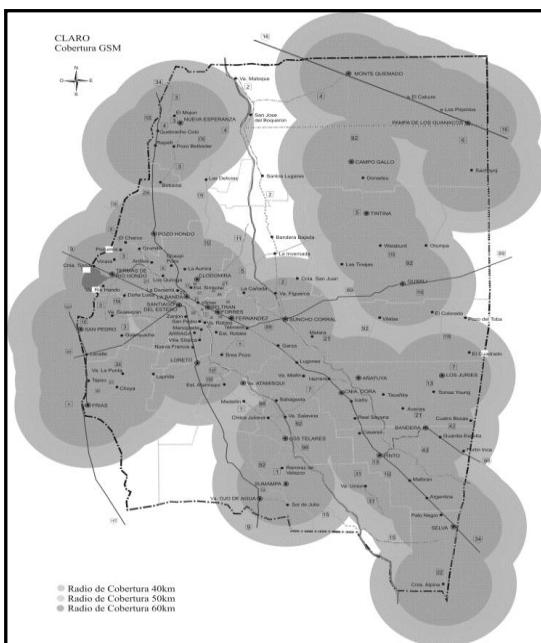


Figura 16. Cobertura del sistema telefónico celular a 40, 50 y 60 km

6 CONCLUSIONES

Durante un largo periodo de tiempo y con diversas dificultades, se realizó un experimento de campo con el objeto de relevar las condiciones de servicio de la telefonía celular en la provincia de Santiago del Estero, particularmente el interior de la provincia y en las zonas de población dispersa.

Se utilizó un software de simulación para constatar los obstáculos físicos, determinándose las condiciones favorables para que se realice con éxito un enlace de radio. Se confirmó que distancias menores de 30 km son cubiertas sin dificultad por el sistema telefónico celular para todos los modos de servicio.

A distancias intermedias entre 30 km y 45 km se comprueba que con repetidores pasivos con

antenas de alta ganancia, el sistema permite llamadas y SMS.

Largas distancias, entre 45 km y 65 km requieren una cuidadosa calibración y amplificadores de potencia, pudiéndose lograr llamadas y enviar mensajes de texto. Aunque teóricamente es posible realizar enlaces de 70 km, las mediciones no se pudieron comprobar físicamente.

Futuras investigaciones incluyen experimentos en las nuevas redes 3G 4G para reconfigurar el mapa de cobertura para estas nuevas tecnologías, investigación de factibilidad y diseño de una estación base para ultra larga distancia y elevado número de usuarios

REFERENCIAS

Holma H. & A. Toscala, *WCDMA for UTMS*, John Wiley & Sons, 2nd Edition, London, 2002, pags. 2-6

Sendin Escalona A., *Fundamentos de los Sistemas de Comunicaciones Mviles*, Mc Graw Hill, Primera edición, Madrid 2004

Tomasi W., *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas*, Pearson Educación, Cuarta edición, Mexico 2003

3rd Generation Partnership Project, *3GPP TS 05-10, Radio Subsystem Synchronization*, Release 1999