

Bits y Bytes

Las tendencias y los hechos

Ermanno Pietrosemoli

Fundación Escuela Latinoamericana de Redes

www.eslared.org.ve

ULA

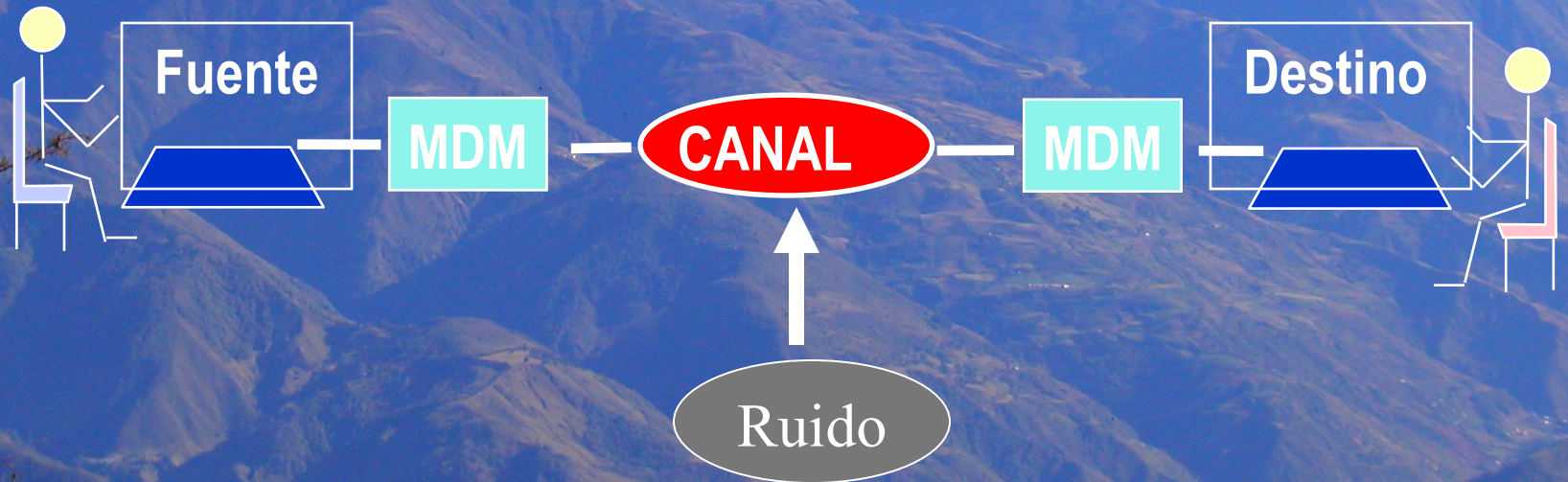
Septiembre 2007

Bits y Bytes

- Las comunicaciones modernas tienen su origen en el telégrafo, que causó una verdadera revolución cuando apareció en 1840
- La velocidad con la que se difundió su uso es incluso mayor que la de Internet hoy en día
- Otros hitos importantes fueron la radio y el teléfono
- Pero la tasa de progreso en las comunicaciones se acelera definitivamente desde 1948, cuando Claude Shannon, un matemático que trabajaba en Bell Lab publicó un artículo seminal donde por primera vez se postula una herramienta matemática general para analizar cualquier sistema de comunicaciones

El modelo de Shannon

El propósito de todo sistema de comunicaciones es el de transmitir información desde una fuente a un destino



MDM: Modem

Pero ¿Qué es información?

- La información es muy difícil de definir de manera que satisfaga todos los criterios
- Shannon resolvió el problema *postulando* una definición de información que se prestara a un tratamiento matemático y por ende permitiera orientar los esfuerzos de los ingenieros para mejorar los sistemas de comunicaciones
- La transmisión de algo conocido carece de utilidad (excepto para propaganda)

Definición de Información

- La información recibida aumenta en función de la sorpresa que causa en el receptor. Esto sugiere un tratamiento probabilístico.
- La cantidad mínima de información que se puede transmitir corresponde a la elección entre dos eventos igualmente probables
- $I = \log_2(1/P_e)$, para $P_e = 0,5$ $I = 1$ bit

El Código Morse

- Utiliza una combinación de dos símbolos, uno corto y uno largo para representar todas las letras del alfabeto
- Para que sea más eficiente, a las letras más comunes se le deben asignar combinaciones más cortas
- La letra más frecuente en español es la e, a la que le corresponde el símbolo más corto, un punto. A la z le corresponde uno de los símbolos más largos, cuatro rayas y un punto.

El telegrafista adivino

- Es muy difícil adivinar qué carácter se recibirá al inicio de una transmisión arbitraria, todas las letras del alfabeto, los 10 números y algunos signos de puntuación son igualmente probables, supongamos que en total son 64:

$$I = \log_2(1/P_e) = \log_2(1/1/64) = 6 \text{ bit}$$

- Pero supongamos que hemos recibido una **q**; inmediatamente podemos escribir que la letra siguiente será una **u**, su recepción no transmite ninguna información
- Para adivinar la tercera letra, tenemos en nuestro idioma sólo dos posibilidades, **e** ó **i**, luego:

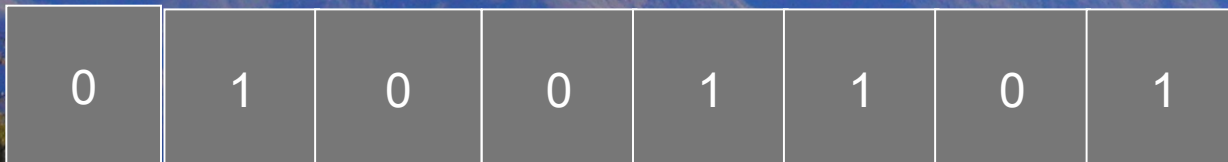
$$I = \log_2(1/P_e) = \log_2(1/1/2) = 1 \text{ bit}$$

Codificación de la información

- La codificación nos permite transmitir la información de manera más eficiente y robusta: compare discos de vinilo y CD, Cintas VHS y DVD
- También nos facilita proteger la privacidad de la información, utilizando criptografía
- Hoy en día cualquier tipo de información se puede enviar mediante un código binario, texto, voz, música, fotos, videos
- La fórmula de Shannon nos permite calcular los requerimientos que debe tener nuestro sistema de transmisión o almacenamiento de información para cada uno de estos objetos, dependiendo de la calidad que demandemos

Bits y Bytes

- El **bit**, **b** (dígito binario) es la unidad elemental de información, puede ser 1 ó 0
- La combinación de ocho bits, frecuentemente utilizada para representar una muestra de voz y los caracteres del teclado se llama **octeto** o **byte**, **B**
- Los múltiplos del byte se utilizan para especificar la capacidad de discos duros y otros medios, KB, MB, GB y TB



1 kB = 1000 bits, 1KB = 1024 bits

Ancho de banda y tasa de transmisión

- El ancho de banda es la diferencia entre la frecuencia máxima y la frecuencia mínima que ocupa una señal y se mide en Hz (s^{-1})
- La tasa de transmisión o velocidad de transmisión de información es el número de bits transmitido por segundo. Se mide en b/s, y sus múltiplos, kb/s, Mb/s frecuentemente escrito como bps, kbps, Mbps.
- Los primeros sistemas de transmisión digital requerían de 1 kHz para transmitir 1 kb/s, por lo que se hizo práctica común hablar de ancho de banda en términos de b/s, aunque esto no sea estrictamente correcto, hoy en día en 1 kHz se pueden transmitir 8 kb/s con la técnica de modulación apropiada

Elementos de un sistema de comunicaciones

TX

Canal

RX

Transductor

Adaptador

Filtro

Amplificador

Modulador

Multiplexador

Codificador

Ruido

Interferencia

Atenuación

Distorsión

Retardo

Fluctuación de ret.

Adaptador

Filtro

Amplificador

Rec. Reloj

Demodulador

Demultiplexador

Decodificador

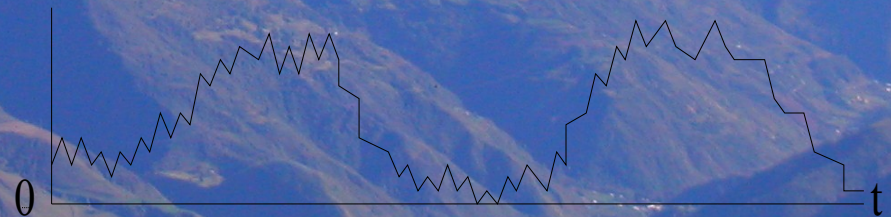
Ruido Eléctrico

Es una perturbación de carácter aleatorio de origen interno o externo al sistema. Si su potencia es lo suficientemente alta, puede producir efectos severos en la forma de la señal útil.

La relación $S/N = (\text{Potencia de la Señal}) / \text{Ruido}$ define la calidad de la recepción



(a) Señal sin Ruido



(b) Señal con Ruido

Efecto del Ruido sobre una Señal.

Capacidad del canal

Shannon demostró que la tasa de transmisión máxima que puede soportar un canal de comunicaciones es:

$$C = B \log_2 (1 + S/N)$$

Donde B es el ancho de banda en Hz,
dimensionalmente $[s^{-1}]$

S es la potencia de la señal

N es la potencia del ruido

C se mide en bit/s, dimensionalmente $[s^{-1}]$

Tiempo de transmisión de diferentes aplicaciones

Tiempo de transmisión (Segundos)

Aplicación	Tamaño (kb)	9.6 kbps	56 kbps	1 Mbps	16 Mbps	100 Mbps	1.2 Gbps
Email	13.2	1.4	0.24	0.013	0.00083	0.00013	0.000011
Página de Texto	29.0	3.0	0.52	0.029	0.0018	0.00029	0.000024
Documento	150.	15.6	2.68	0.150	0.0094	0.0015	0.000125
Gráfica	400.	41.7	7.14	0.400	0.025	0.004	0.000333
Hoja de cálculo	1200.	125.	21.43	1.20	0.075	0.012	0.0010
Pantalla VGA	25,166	2621.	449.4	25.11	1.573	0.252	0.021
Scanner B. y N.	67,320	7013.	1202.	67.32	4.21	1.202	0.056
Scanner Color	201,960	21,038.	3606.	201.96	12.63	2.02	0.168
Rayos X (5 placas)	240,000	25,000.	4286.	240.0	15.0	2.40	0.20
Tomografía	8,589,935	894,785.	153,392.8590	537	85.9	7.16	

Modelo General

- La velocidad con la que se difundió su uso es incluso mayor que la de Internet hoy en día
- Otros hitos importantes fueron la radio y el teléfono
- Pero la tasa de progreso en las comunicaciones se acelera definitivamente desde 1948, cuando Claude Shannon, un matemático que trabajaba en Bell Lab publicó un artículo seminal donde por primera vez se postula una herramienta matemática general para analizar cualquier sistema de comunicaciones

Muestreo

- El muestreo es el proceso que nos permite convertir una señal **analógica** en una señal digital
- Es necesario tomar un número suficiente de muestras para garantizar la reproducción adecuada de la señal.
- El número de **muestras** por segundo debe ser al menos el **doble de la frecuencia** máxima de la señal analógica original.

Digitalización de Imágenes

Foto normal, 72píxeles/pulg

Foto Muestreada, 10 píxeles/pulg



El Espectro Electromagnético

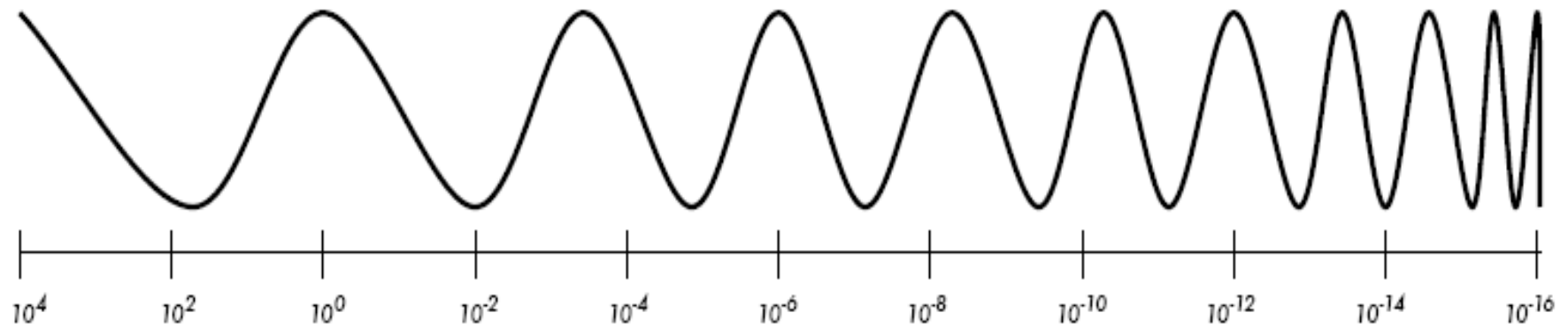
- Abarca desde 30 Hz hasta 3000 GHz
- En términos de longitud de onda, desde las ondas kilométricas hasta las femtométricas
- c = velocidad de la luz, 300.000 km/s

$$f = \frac{c}{\lambda}$$

El espectro electromagnético

Frecuencia aproximada en Hz

10^4 10^6 10^8 10^{10} 10^{12} 10^{14} 10^{16} 10^{18} 10^{20} 10^{22} 10^{24}



Longitud de onda aproximada en metros

Frecuencias de uso libre


Industrial, Científica y Médica (ISM)

La asignación difiere por país, en Ve:

- 2.400-2.483 GHz**
- 5.725-5.825 GHz**

Evolución del uso del espectro

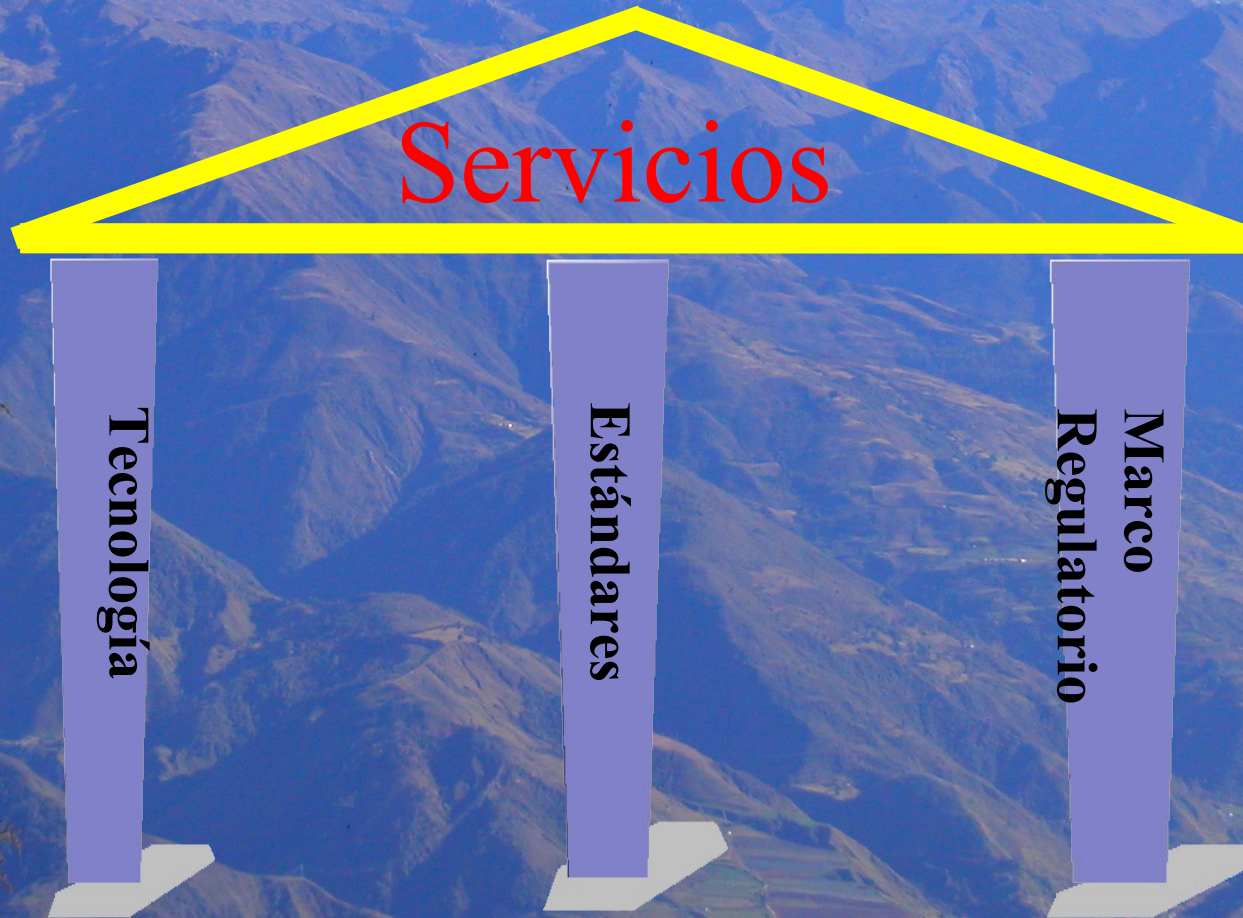
- En 1895, la primera transmisión de Marconi ocupó la totalidad del espectro electromagnético
- En 1901, la primera transmisión transatlántica cubrió millones de km cuadrados con algunos bits por segundo
- Hoy en día es posible realizar 1 millón de llamadas telefónicas simultáneas en un área dada

A group of approximately 15 people, including men and women of various ages, are posing for a group photo on a grassy area. They are standing in front of the large, rusted, light blue hull of a ship, which is the 'Electra' yacht. The hull is tilted and shows significant signs of age and wear, with many holes and patches of rust. The people are dressed in casual to semi-formal attire, including jackets, sweaters, and trousers. The background shows a clear sky and some trees. The overall scene is outdoors, likely at a museum or historical site.

Electra, el yate de Marconi,
en el que recorrió los mares
realizando experimentos científicos,
Gira del curso del redes Inalámbricas
ICTP, Trieste 2002

20 11:56

Pilares de las Telecomunicaciones



Por qué Acceso Inalámbrico?

- Independiente de la infraestructura telefónica
- Variedad de velocidades de transmisión
- Instalación mucho más rápida y económica
- Inversión distribuida en el tiempo
- Facilidad de salvar obstáculos,
- No requiere derecho de paso,
- Menos sujeto a robo y vandalismo

Red de acceso Inalámbrica

■ Wi-Fi (IEEE 802.11)

- ◆ Diseñado para distancias muy cortas, no hay garantías de calidad de servicio, la más económica
- ◆ Mesh ofrece soluciones para los problemas de interferencia y de extensión de cobertura



■ Wi-Max

- ◆ Estándar aprobado, actualmente en pruebas de interoperabilidad entre fabricantes

■ Telefonía Celular

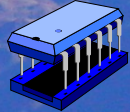
- ◆ GSM, GPRS, EDGE, UMTS, HSDPA
- ◆ CDMA, 1x, EV-DO, EVDV

Transmisión vía Satélite



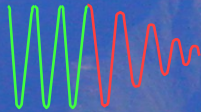
- Alcance de miles de kilómetros
- Retardos de propagación pueden ser altos
- Anchos de banda variables
- Flexibilidad de cobertura en cualquier parte del planeta
- Pueden soportar aplicaciones fijas o móviles
- Demasiado costosa para acceso individual, pero se combina bien con redes inalámbricas

Aceleración Tecnológica: Ley de Moore



- **Circuitos Integrados:**

Duplican sus prestaciones cada 18 meses



- **Compresión:**

Factor de 30:1 en los últimos 5 años



- **Comunicaciones ópticas:**

Duplican las prestaciones cada 12 meses



- **Almacenamiento:**

Duplica la densidad cada 3 años



- **Eficiencia en uso del Espectro:**

Duplicada cada 30 meses durante un siglo

Evolución de la tecnología electrónica para telecomunicaciones

- Tubos de vacío conectados con alambres
- El circuito impreso
- El transistor: menos consumo, menor tamaño
- El circuito integrado
- El microprocesador: funciones definidas por software
- Software Defined Radio
- Radio Cognitivo

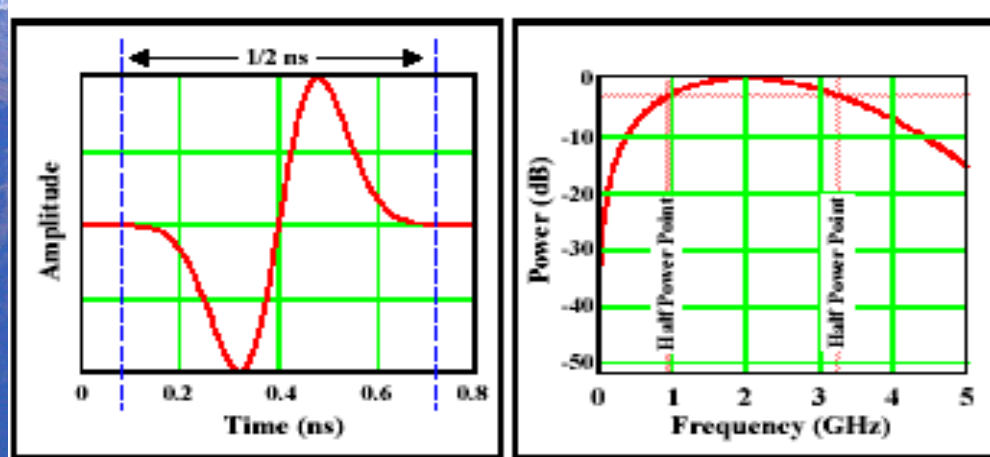
Tendencias Tecnológicas

- De analógico a digital
- De conmutación de circuitos a conmutación de paquetes
- Convergencia de diferentes redes específicas para cada servicio en una sola, basada en IP
 - VoIP, VoD, WebTelephony
- Computación Ubicua
- Funcionalidades definidas por software: SDR
- Democratización y globalización de la producción de contenidos: wikipedia, YouTube, blogs
 - Costos casi independientes de la distancia
 - Inteligencia en la periferia (Equipos terminales)
- La telefonía fija susituida por la móvil

Evolución de los medios para telecomunicaciones

- Cables bifilar de cobre
- Inalámbrico
- El cable coaxial
- Los sistemas de microondas
- La guía de onda metálica
- Comunicaciones vía satélite
- Cables de fibras ópticas
- Sistemas celulares
- Espectro libre: WiFi, UWB, WiMAX
- VoIP

UWB: Ultra Wide Band



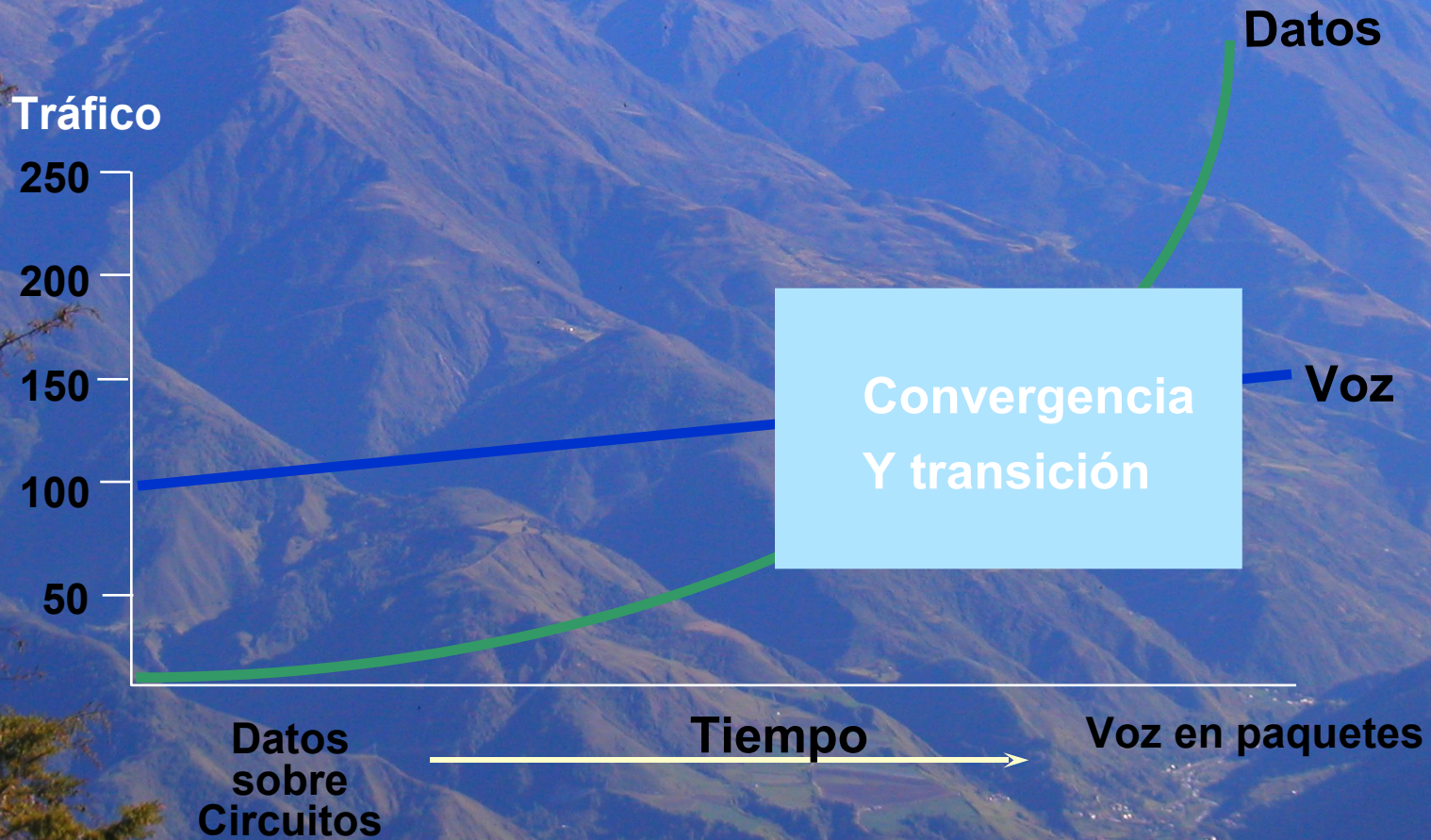
Un impulso de un solo ciclo y su espectro

Definición de UWB :

- ◆ El ancho de banda fraccional $> 20\%$ de la frecuencia central, o
- ◆ El ancho de banda de -10 dB ocupa ≥ 500 MHz de espectro

De Circuitos a Paquetes

Preponderancia de los datos



Componentes de una red de Comunicaciones de banda ancha

- **Red de transporte**
 - ◆ Suministrada por grandes operadores: Telecom, Empresas Satelitales
 - ◆ Fibra óptica, Microndas terrestre o satelital
- **Red de Acceso o Primera Milla**
 - ◆ Fibra hasta el abonado
 - ◆ Infraestructura de televisión por cable
 - ◆ XDSL (Bucle de abonado digital)
 - ◆ PLC (transmisión sobre cables de energía)
 - ◆ Soluciones Inalámbricas

Redes de Comunicaciones

■ Acceso (Primera Milla)

- ◆ Cable telefónico, XDSL
- ◆ Cable Coaxial
- ◆ Fibra Optica
- ◆ Inalámbrico
 - ★ Radio
 - Terrestre
 - Satelital
 - ★ Infrarrojo

■ Transporte

- ◆ SDH/Sonet
- ◆ POS
- ◆ DWDM

Ethernet

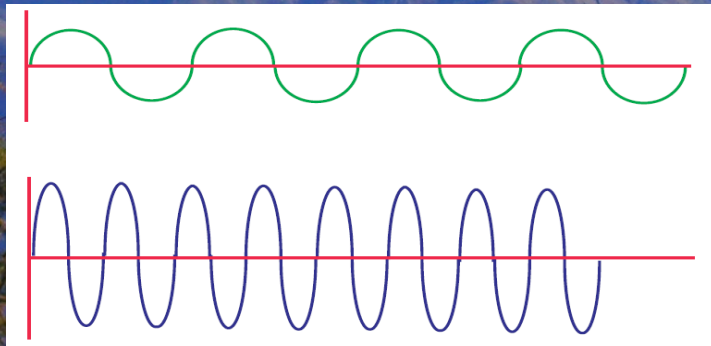
Nuevos servicios:

- IP TV
- PTT, POC (PTT over Cellular)
- Servicios relacionados con la ubicación
- Mensajes cortos multimedia
- UMA, Unlicensed Mobile Access, Wi-Fi VoIP sobre celular
- Televisión digital y de alta definición
- Televisión Móvil

Tendencias Tecnológicas

De analógico a digital:

- **Más resistente al ruido**
 - ◆ Más eficiente en aprovechamiento del medio de transmisión
 - ◆ Más fácil de operar y de mantener
 - ◆ Mejor integración de diferentes servicios
 - ◆ Más fácil de encriptar la información



1000011	1000100	1001101	1000001
C	D	M	A

Los hechos

- La ULA instaló la primera red Académica (Ethernet y Token Ring) en Venezuela, luego la primera red ATM y posteriormente Gigabit Ethernet
- La ULA instaló la primera red metropolitana de Fibra Optica en Mérida en 1992, con una tasa de transmisión de 100 Mbit/s
- En 1995 se instaló en la ULA un enlace satelital directo a Internet
- La red inalámbrica del estado Mérida ganó el premio SuperComm otorgado en Atlanta, EEUU, como la mejor red remota en 1998
- En 2006 un equipo de la ULA batió el récord mundial de transmisión WiFi alcanzando 280 km a 65 kbit/s
- En abril 2 007 la tasa de transmisión se mejoró hasta alcanzar 8 Mbit/s bidireccionales sobre el mismo trayecto y luego se superó la marca internacional de distancia al lograr transmitir a 382 km

Estación Base, La Aguada

**11 sectores, 15 grados, 20 dBi c/u, 10 Mbps
Full Duplex, frecuencias protegidas**

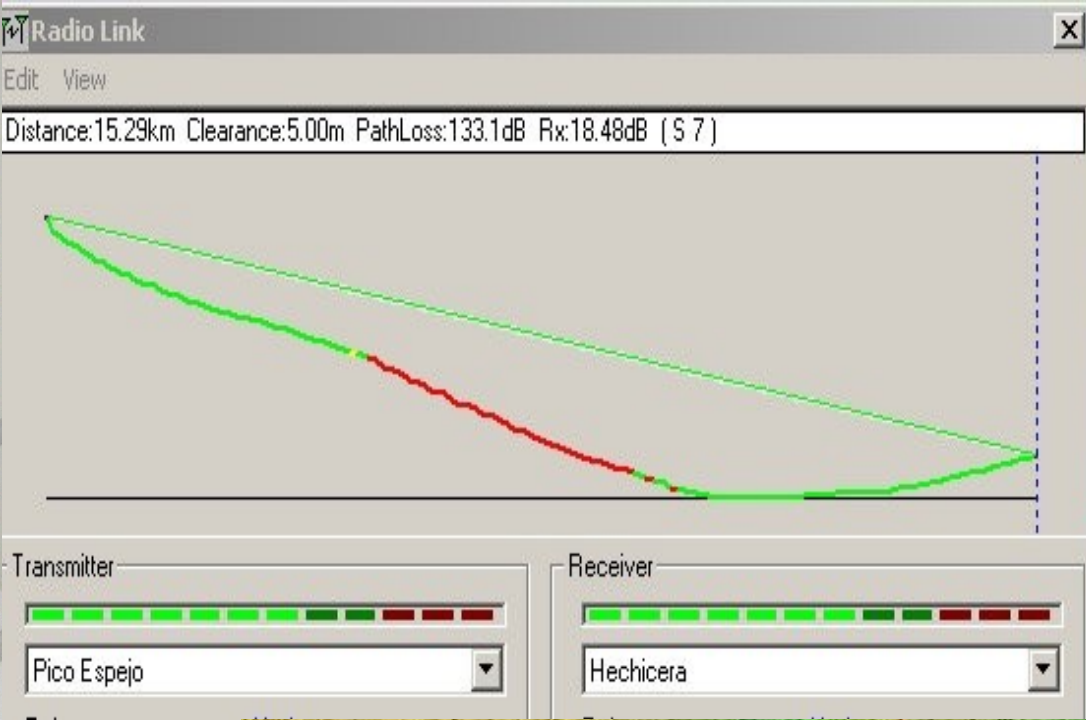
Repetidor en La Trampa, a 40 km



Instalada en Octubre 1997

Altura: 3450 m s.n.m





Mérida Atmospheric Research Station (MARS)

Proyecto Conjunto

Venezolano-Alemán:

5.8 GHz, 16 km

Pico Espejo. 4765 m

A La Hechicera 1800 m

18/09/07



Pietro:

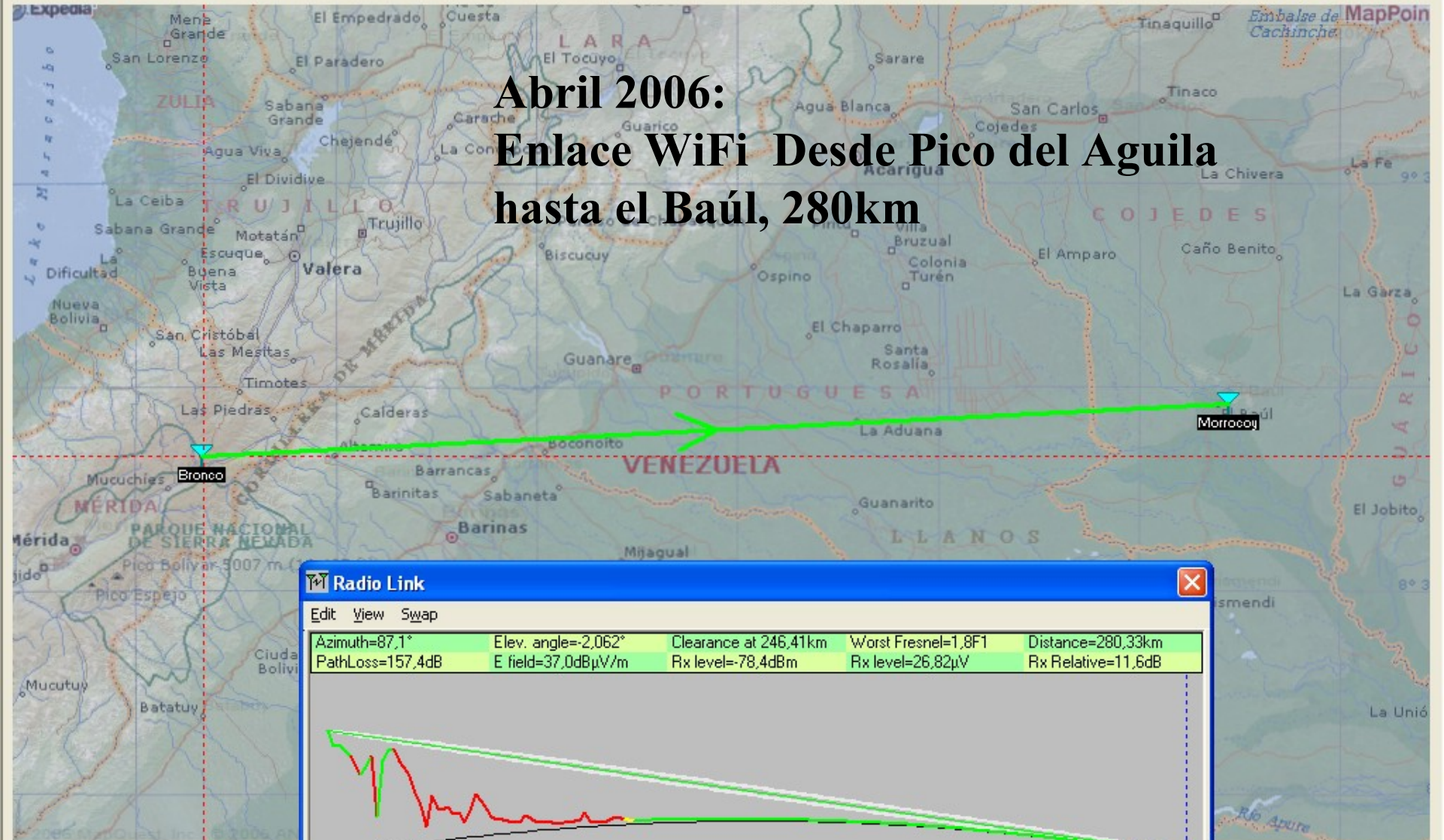
Vista del Pico Bolívar

Se instaló una webcam en Pico Espejo que muestra una imagen del Pico Bolívar (5000 m altura) cada 20 minutos y puede verse en línea en:
<http://www.eslared.org.ve/pico.htm>





**Abril 2006:
Enlace WiFi Desde Pico del Aguila hasta el Baúl, 280km**



Abril 2006: Enlace WiFi Desde Pico del Aguila hasta el Baúl, 280km

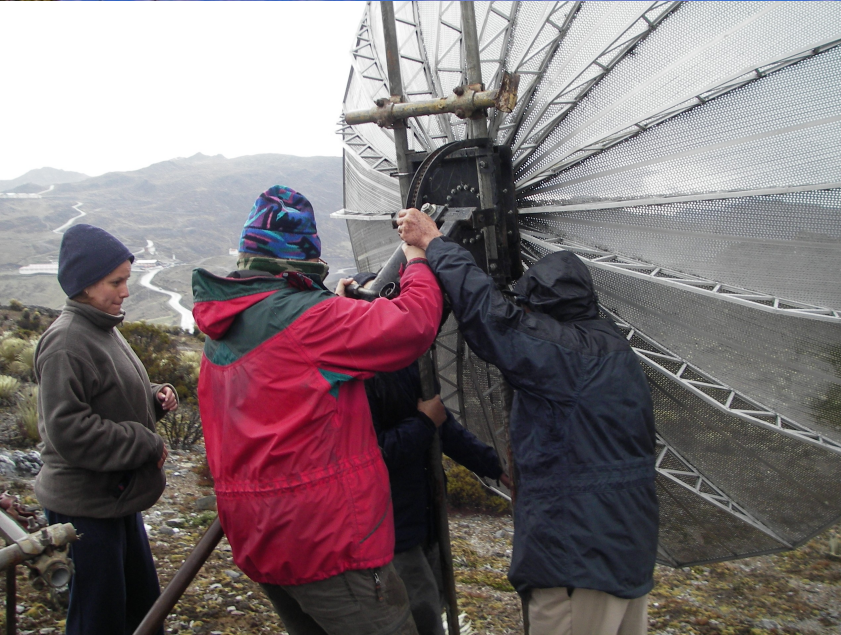
Radio Link

Edit View Swap

Azimuth=87,1°	Elev. angle=-2,062°	Clearance at 246,41km	Worst Fresnel=1,8F1	Distance=280,33km
PathLoss=157,4dB	E field=37,0dBμV/m	Rx level=-78,4dBm	Rx level=26,82μV	Rx Relative=11,6dB

Transmitter Receiver

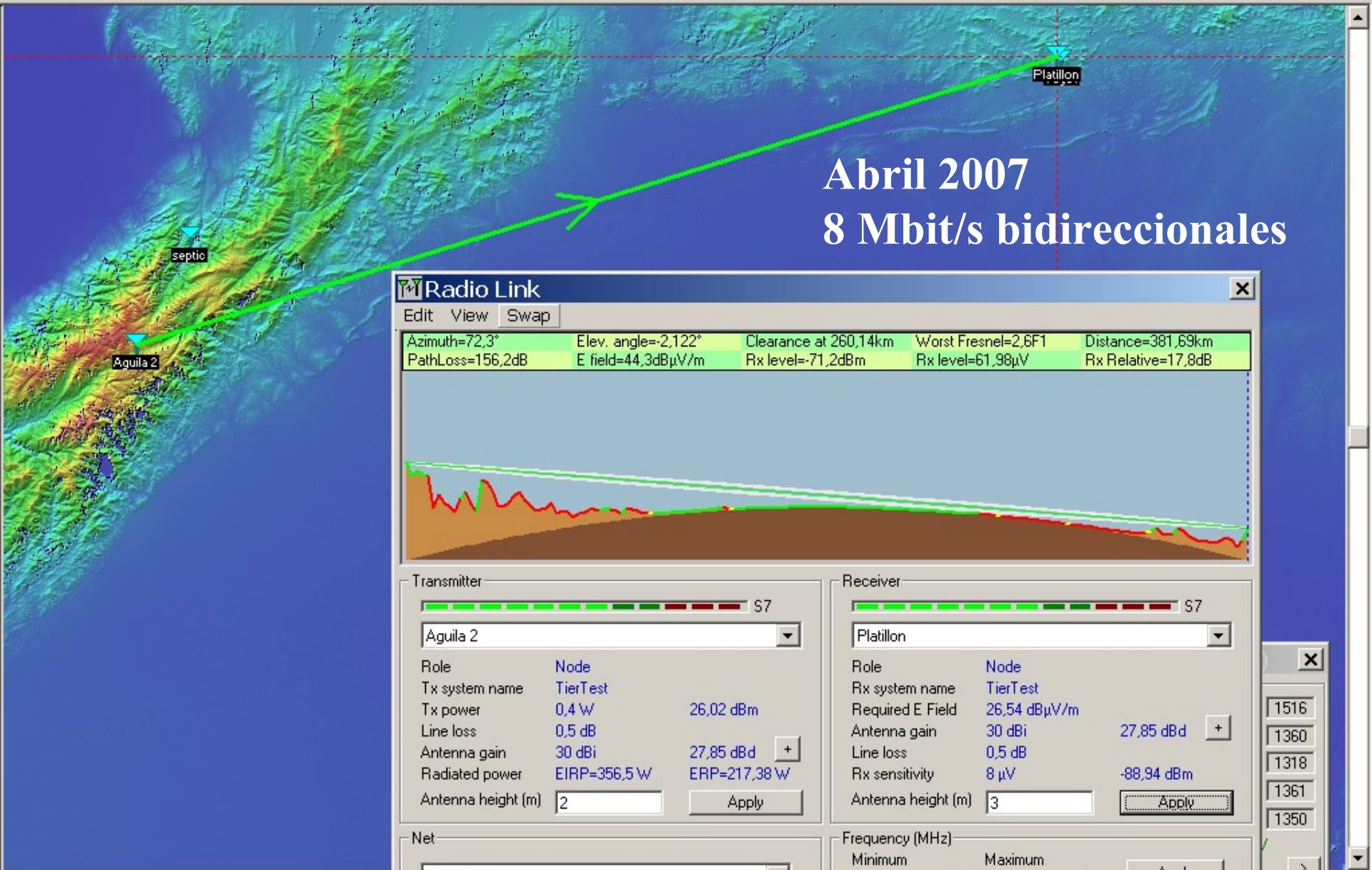
Antenas recicladas para WiFi



Pico del Aguila

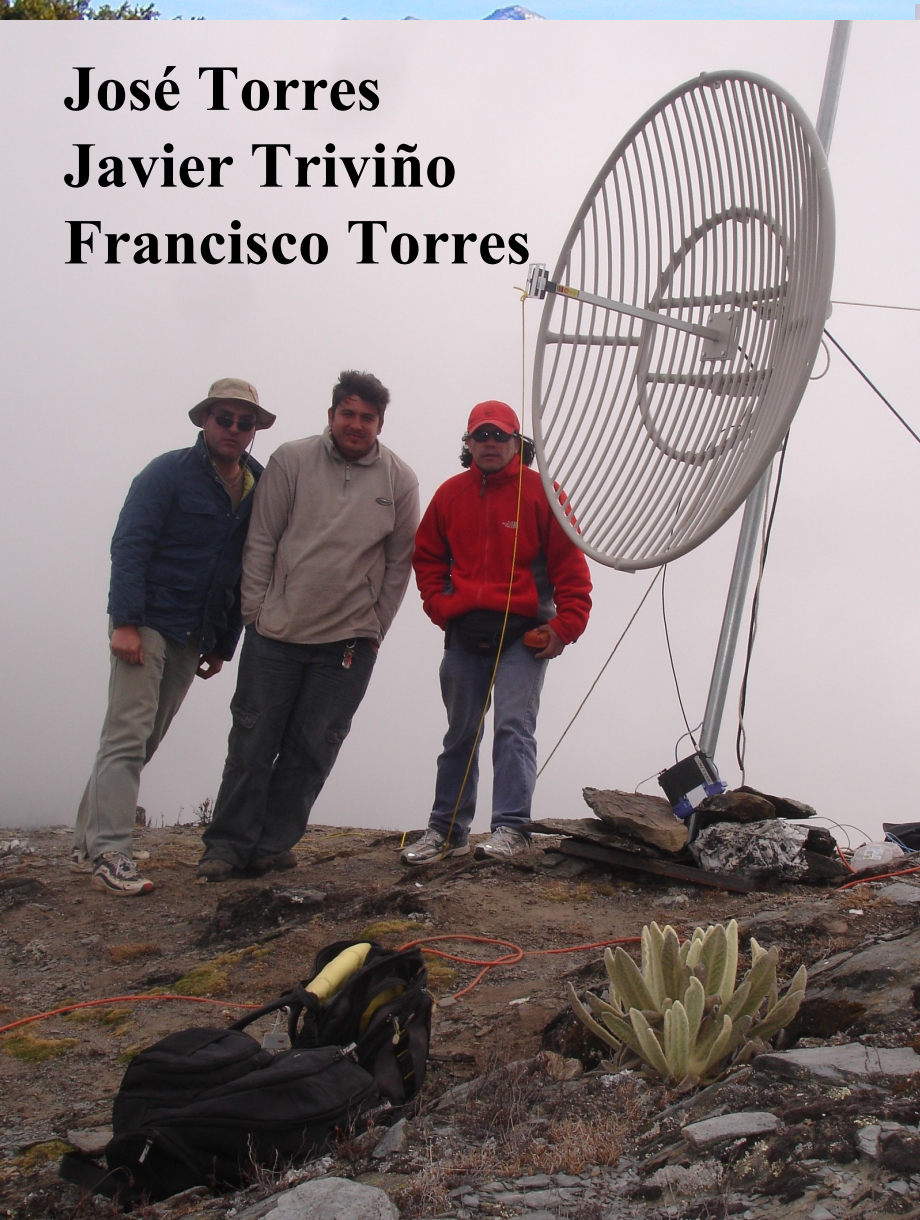
El Baúl

Transferncia de archivos a 65kbit/s y video



Abril 2007, El Aguila-Platillón: 381 km

José Torres
Javier Triviño
Francisco Torres



Leonardo González G.
Leonardo González G.
Alejandro González
Ermanno Pietrosemoli

