

# Evaluación de la Tecnología Cable Modem DOCSIS 1.0 en redes de acceso MMDS para servicios de Videoconferencia

Eduardo Tommy López Pastor, Humberto Abdalla Junior y Luis F. Ramos Molinaro  
Departamento de Engenharia Elétrica – Universidade de Brasília - UnB

**Resumen**—La evaluación de la tecnología Cable Modem bajo la especificación DOCSIS 1.0 operando en una red de acceso MMDS (*Multichannel Multipoint Distribution System*), para servicios de videoconferencia es abordado en este trabajo de una manera cualitativa y cuantitativa, observando, tanto los terminales de videoconferencia y Modems, como la red de acceso. Los resultados obtenidos demuestran la necesidad de incorporar herramientas de calidad de servicio (QoS) para el tráfico IP sobre tecnología Cable Modem para conseguir una buena performance en aplicaciones de videoconferencia. Las conclusiones de este trabajo se pueden extender también para otros servicios de VoIP sobre esta tecnología.

**Palabras claves:** Cable Modem, DOCSIS 1.0, Videoconferencia, MMDS, mediciones en ambiente digital.

## I. INTRODUCCIÓN

Nuevas tecnologías en telecomunicaciones vienen desenvolviéndose en el escenario de las redes de acceso con el objetivo de suplir las necesidades crecientes de banda del usuario final y permitir mayor capacidad para el acceso a Internet y otros servicios de datos. Debido a las necesidades de consumo del mercado, tecnologías de “última milla” como ADSL (en la red PSTN) y Cable Modem (capaz de operar en redes de acceso MMDS, CATV y Satélite Directo) orientaron sus características a un acceso del tipo asimétrico y en ráfagas, típico de la Internet, dejando a un lado la expectativa de otros servicios que precisan de simetría y calidad de servicio, pero con menor demanda de usuarios. Uno de esos servicios es la videoconferencia, caracterizada por un flujo en tiempo real continuo y bidireccional de información multimedia, a tasas simétricas de transmisión.

Paralelamente, usuarios de videoconferencia, en su mayoría corporativos, procuran nuevas tecnologías de acceso para disminuir sus inversiones en el uso de este servicio y mejorar la calidad de sus comunicaciones.

Por otro lado, operadoras de TV pago se encuentran en un proceso de incremento de la oferta de su tradicional servicio de TV de entretenimiento para servicios de voz, video y datos. Así, operadoras de TV MMDS ofrecen servicios de banda

ancha bidireccional en parte del espectro de frecuencias que tienen asignados.

En este escenario fue realizado este trabajo que pretende ser un soporte para la toma de decisiones de proveedores y usuarios del servicio de videoconferencia. Este trabajo sigue una estructura en la cual se aborda primeramente la problemática existente, se establece la configuración del sistema, es realizada la evaluación, para terminar con conclusiones y recomendaciones; reuniendo así las informaciones pertinentes a la problemática, con un análisis objetivo que conduzca a deducciones válidas.

## II. PROBLEMÁTICA

Las redes LAN fueron diseñadas para soportar tipos de datos en ráfagas. Las redes bajo Cable Modem siguen la misma filosofía. En contraste, video y audio son tipos de datos streaming. El volumen de datos es continuo y requiere de mayor ancho de banda del necesario para transferencias típicas como e-mail o de texto. El ancho de banda en una red IP, como la usada por la tecnología Cable Modem, es raramente constante. En momentos de mayor tráfico habrá una gran variedad de tamaños de paquetes y de los tipos de tráfico que comparten los diferentes segmentos de la red [1]. El tráfico de otros usuarios y otros servicios en la red colisionará en algún momento con uno o más paquetes del streaming de video y audio transmitidos durante una videoconferencia.

Para una transmisión de videoconferencia con éxito es necesario que algunos requisitos sean cumplidos por el sistema de acceso. Con tecnología Cable Modem, la red de acceso presenta tres características que ocasionan algunos inconvenientes para una satisfactoria sesión de videoconferencia: el acceso compartido, que ocasiona problemas de tráfico y colisiones; el acceso asimétrico, no adecuado para videoconferencia; y la ubicación, en el espectro de radiofrecuencias, del canal de retorno (*upstream*). Estos problemas son resumidos a seguir.

### A. Acceso Compartido

Para soportar un gran número de usuarios en una simple red de acceso compartido, la tecnología Cable Modem temporiza y coordina los procesos vía el protocolo MAC [2]. Este protocolo asigna banda para los usuarios, y arbitra y encamina sus actividades [3] de forma que puedan recibir el *throughput* deseado, pero no consigue asegurar banda fija para

servicios sensibles al tráfico.

### B. Acceso Asimétrico

La videoconferencia se caracteriza por ser un servicio simétrico que genera flujo continuo de medias por el canal de transmisión y no un flujo en pequeñas ráfagas. La asimetría de tasa en Cable Modem no sólo es tendenciosa, por causa de su orientación a Internet, ella también tiene sus raíces en el protocolo MAC y es inherente a este, principalmente en la forma como el protocolo realiza la gerencia de asignación para el upstream, muy diferenciada que el de downstream. Estos procesos son manifestados luego, en la capa física, por los diferentes tipos de tasas y banda usadas.

### C. Canal de Retorno

El canal de retorno (*upstream*) trabaja en una zona del espectro de frecuencias bastante ruidosa [3] y de alta interferencia, debido a otras emisiones de radiofrecuencia. El ruido impulsivo, los ingresos de *narrowband* y las variaciones de amplitud generan problemas en la transmisión en esta dirección.

## III. ARQUITECTURA DE LA RED MMDS

Para atender el interés de las operadoras de TV pago de adicionar el servicio de tráfico de datos en banda ancha, Cable Televisión Laboratorios Inc. (CableLabs), preparó una serie de especificaciones que permiten la definición, diseño, desarrollo y aplicación de sistemas de datos sobre una base interoperable uniforme, consistente, abierta, no propietaria y multi-vendedor, cuyo resultado es el estándar DOCSIS (*Data-Over-Cable System Interface Specification*) [2]. Originalmente el estándar fue concebido para ser aplicado en redes HFC, pero es también adaptable a redes *wireless*.

Así, es incorporado al *Headend* un terminal de control de terminales de usuario: el CMTS (*Cable Modem Termination System*), un *router* con funciones de modulador/demodulador. El CMTS permite tráfico entre los terminales de usuarios en la red de acceso y disponibilidad al *backbone* Internet, Fig. 1.

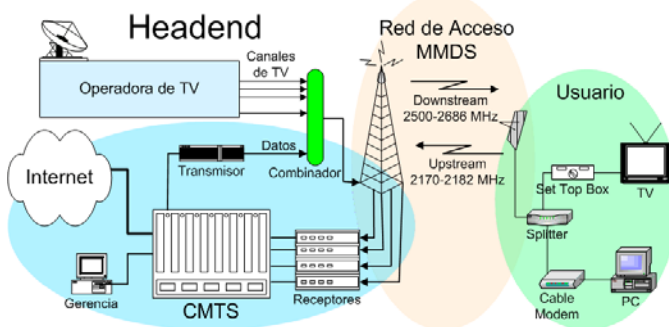


Fig. 1, Arquitectura MMDS

En el local del usuario, un Cable Modem es el responsable por la conversión de la señal para Ethernet.

El transporte de datos desde el *Headend* para el usuario (*downstream*) es realizado en un canal (6 MHz), dentro del espectro de señal de TV MMDS, entre 2500 e 2686 MHz, y es compartido entre todos los usuarios. En la dirección usuario-

*headend (upstream)* el canal de retorno fue de 1,6 MHz (se tienen también canales de 200, 400, 800 y 3200 KHz) y opera en la banda entre 2170 y 2182 MHz.

## IV. VIDEOCONFERENCIA SOBRE CABLEMODEM

La Videoconferencia se caracteriza por ofrecer un servicio en tiempo real con flujo continuo. Este servicio es realizado por equipamientos y protocolos que hacen procesamiento y codificación de audio y video. Para este trabajo fueron usados equipamientos que siguen la norma ITU-T H.323, padrón que define señalización y control sobre redes IP, con audio/video sobre RTP/UDP y datos (T.120), control (H.245) y señalización (Q.931) sobre TCP [4].

Sobre la red de acceso MMDS fue empleado tecnología Cable Modem. Los modems empleados cumplen con las normas *CableLabs*.

Para evaluar el desempeño del servicio en la tecnología Cable Modem, fue establecido un link sobre plataforma MMDS entre el *Headend* de una operadora local y un estudio de videoconferencia, como es mostrado en la figura 2.

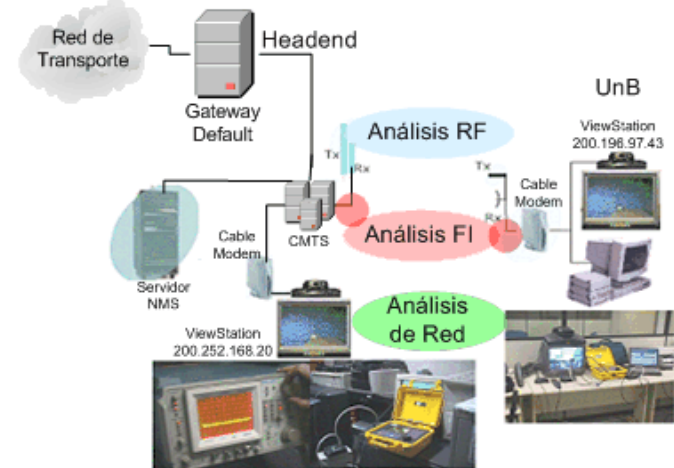


Fig.2, Configuración del sistema bajo test

En esta plataforma el desempeño es analizado a tres niveles: **Análisis a nivel de Red Local** – evalúa la calidad del servicio de videoconferencia en el sistema a través de medidas de latencia, tasa líquida de transmisión/recepción, tasa media de *frames* de video y *jitter* de audio y video.

**Análisis a nivel de Transceptor (FI)** – analiza los parámetros relacionados al transmisor y receptor. A partir de una cierta potencia de transmisión es verificado el estado de la constelación QAM, la tasa de error de modulación (MER) y la tasa de error de bit (BER) en el receptor.

**Análisis a nivel de Radiofrecuencia (RF)** – toma en consideración los aspectos relacionados a la propagación de la señal, tales como multitrayecto y ruido impulsivo.

Debido a que el servicio de videoconferencia requiere de acceso simétrico, fueron establecidas configuraciones de tasas en el CMTS en 1.5 Mbps para *upstream* y *downstream*, y 768 Kbps para un segundo *test*, forzando un acceso simétrico como es mostrado en la Figura 3.

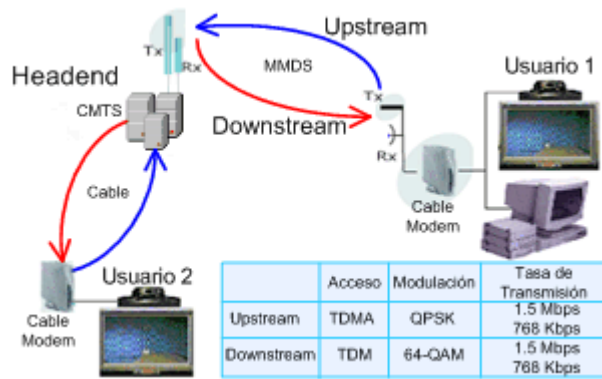


Fig. 3. Configuración de Canal para los Tests

Las principales características de los canales de transmisión usando la especificación DOCSIS son mostrados en la Tabla I

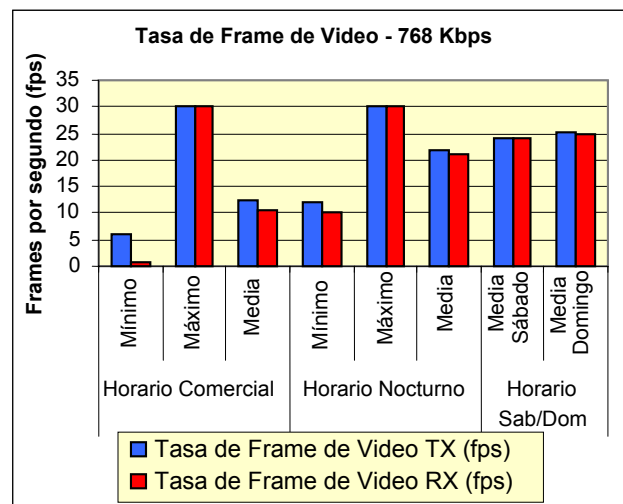
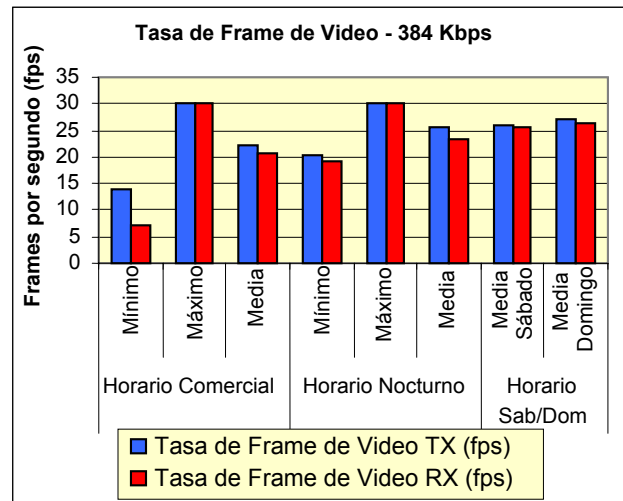
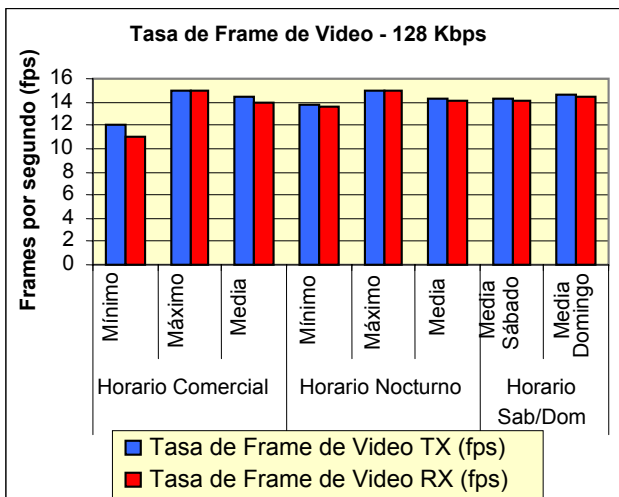
TABLA I  
CARACTERÍSTICAS DE LOS CANALES DE TRANSMISIÓN [2]

Características	Downstream	Upstream
Frecuencia RF	2500 – 2686 MHz	2170 - 2182
Frecuencia FI	220 – 408 MHz	5 – 45 MHz
Modulación	64 QAM	QPSK
C/N	24 dB (min)	12 dB (min)
Eficiencia espectral	5 bits/Hz	1,5 bits/Hz
Canal	6 MHz	200 KHz, 400 KHz, 800 KHz, 1,6 MHz, 3,2 MHz
Tasa teórica	30 Mbps	2,4 Mbps (en 1,6 MHz)

## V. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE VIDEOCONFERENCIA AL NIVEL DE RED LOCAL

### A. Canal de comunicación configurado a 1,5 Mbps.

Fueron hechas llamadas de videoconferencia a 128, 256, 384, 512 y 768 Kbps, en horario comercial, nocturno y Sábado/Domingo. Fueron obtenidas las tasas de *frame* mínima y máxima, y una media de todos los valores observados, tanto en TX como en RX. La colecta de datos se obtuvo con el sistema estadístico interno del equipamiento de videoconferencia. La figura 4 muestra los gráficos de parte de los resultados obtenidos.

Fig. 4. Tasa de *Frame* de Video para llamadas a 128, 384 y 768 Kbps

En horario comercial fue observado falta de linealidad en tasas superiores de llamada, esto es, el valor entre la tasa de *frame* mínima y máxima presenta mucha diferencia y el desvío padrón es superior, con pérdida de cuadros. Esta característica no satisface calidad para videoconferencia. El mejor desempeño fue obtenido en 128, 256 y 384 Kbps (con las limitaciones que imponen los *codec* usados para tasas bajas [5], y la cantidad de fps máximo usado), con desempeño similar a las observadas en una transmisión ISDN en las mismas tasas.

Puede concluirse que es posible videoconferencia en estas tasas, aún en horario comercial, pero con canal configurado a 1,5 Mbps (mayor costo) para que el tráfico sea mantenido “constante” en el medio compartido. Las necesidades de banda para llamadas a 512 y 768 Kbps son mayores, razón por la cual la calidad de videoconferencia fue pobre.

En horario nocturno y Sábado/Domingo, por la menor demanda de tráfico, observamos una mejora en la calidad de videoconferencia en todas las tasas. Se puede deducir que el servicio es dependiente del tráfico y sensible a sus variaciones.

El *Jitter* fue evaluado en llamadas a 128, 256 y 384 Kbps y sólo en horario comercial. Los resultados muestran variación en el retardo, pero están en valores aceptables. Esto es mostrado en la figura 5.

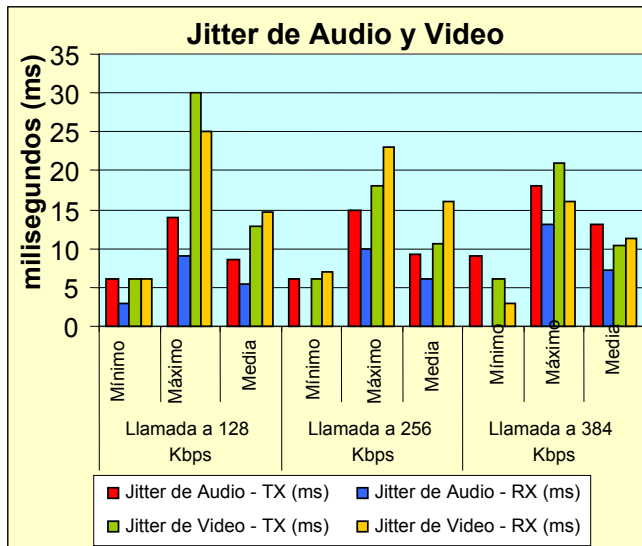


Fig. 5, Jitter de audio y video para diferentes tasas de llamada

Se evaluó la latencia usando el recurso *Ping* de *Windows* desde la dirección IP del usuario para la dirección IP de la operadora. Los valores obtenidos, para bajas tasas, se encontraban entre 21-52 ms, considerados valores razonables.

Para tasas de transmisión superior la latencia, en ciertos momentos del día era superior, alcanzando valores sobre 750 ms, originándose disminución de la calidad manifestada en pérdida de cuadros de imagen y/o de sonido, con descarte derivado de la acción del protocolo de transporte UDP y la pérdida de la secuencia natural de estas medias.

Así, de las implicancias del medio compartido y del tráfico en ráfagas, se pudo apreciar: congelamiento de imagen, aparición de “cuadritos” en la tela, caídas en la tasa de *frame*, pérdida de sonido y ráfagas de silencio. La fig. 6 muestra algunos efectos observados. La evaluación está resumida en la Tabla 2.



Fig. 6, Efectos observados en la evaluación de video en tasa de 768 Kbps

TABLA II  
EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE VIDEO Y AUDIO EN DIFERENTES TASAS DE LLAMADA

Tasas (Kbps)	Evaluación de Video en tasa de 1,5 Mbps		
	Congelamiento	“Cuadritos”	Calidad de Imagen
64 128	No	No	No es buena debido a la tasa
256 384	Es tolerable.	No	La calidad de imagen estática y dinámica aumenta.
512 768	Si, con el aumento del tráfico	Si, cuando el tráfico en la red aumenta	Presenta problemas con el aumento del tráfico.

Tasas (Kbps)	Evaluación de Audio en tasa de 1,5 Mbps		
	Ráfaga de Silencio	Pérdida de Sonido	Calidad de Audio
64 128	No	No	Calidad de audio no es buena
256 384	Tolerable	No es notorio	Calidad de audio aumenta. Música con calidad AM
512 768	Aparecen cada 10 s. aproximadamente	Si, con el aumento de tráfico en la red	Se presenta pérdida de paquetes de audio.

### B. Canal de comunicación configurado a 768 Kbps

Llamadas de videoconferencia fueron realizadas a varias tasas. Los *tests* fueron hechos en horario Comercial. Los resultados aparecen en la figura 7.

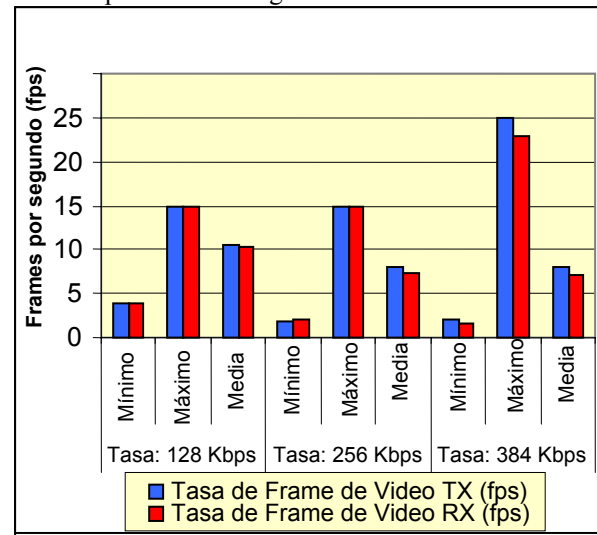


Fig. 7, Tasa de Frame de Video para diferentes llamadas con canal configurado en 768 Kbps

Para una llamada de videoconferencia a 768 Kbps no se consiguió conexión. En llamada a 512 Kbps, el sistema presentó problemas de congelamiento de imagen y luego de 2 minutos la conexión del sistema cayó.

Las mejores condiciones se consiguieron en llamadas a 128 Kbps. La no linealidad es notoria.

La *QoS* en DOCSIS 1.0 se limita a proporcionar el servicio del mejor esfuerzo (“*best effort*”), es decir, todos los paquetes de datos en la red de acceso tienen la misma prioridad y están “sofocados” a los mismos límites de *throughput* [6].

## VI. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE VIDEOCONFERENCIA AL NIVEL DE *TRANSECTOR* (FI)

El análisis del canal de comunicación y del equipamiento Cable Modem es realizado en el ambiente del usuario. La intención es ver la influencia del canal físico en el desempeño de la transmisión de videoconferencia y la respuesta del CM. No son consideradas las pérdidas por cables, conectores y *diplexers*. La configuración para estos *tests* es mostrada en la figura 8.

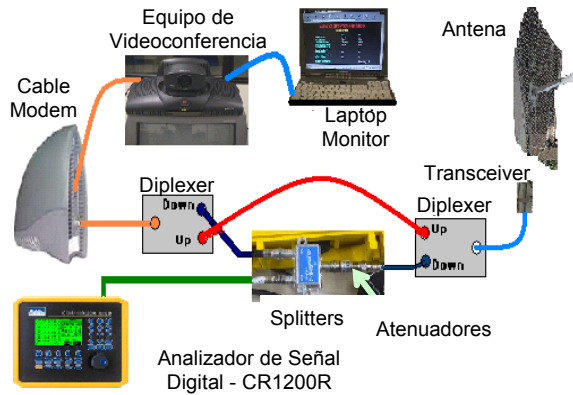


Fig. 8, Configuración para los test de Canal y Modem

Para verificar el estado de la constelación QAM, la tasa de error de modulación (MER) y la tasa de error de bit (BER), se simuló varios niveles de potencia recibida usando un atenuador variable entre el *transceiver* de antena y el modem de cable. Los resultados son mostrados en la Tabla 3.

TABLA III  
EVALUACIÓN DE PARÁMETROS EN EL CANAL DE COMUNICACIÓN Y MODEM

Atenuación (dB)	Potencia Media (dBmV)	MER (dB)	BER Pre / Pos FEC
3 dB	-3	32,1	0/0
Nota	Buena constelación y óptima MER con BER=0 (Ver figura 9)		
6 dB	-6,1	32,0	0/0
9 dB	-9,4	31,2	0/0
12 dB	-13,0	30,2	0/0
15 dB	-15,8	30,0	0/0
18 dB	-18,6	28,3	0/0
21 dB	-21,4	25,6	0/0
22 dB	-23,2	25,0	Pre: $2,6 \times 10^{-7}$ Pos: $5,7 \times 10^{-8}$
Nota	BER pos-FEC del orden de $5,7 \times 10^{-8}$ con 12 errores severos detectados sin posibilidad de corrección. MER en estado marginal.		
25 dB	-25,8	22,2	Pré: $1,8 \times 10^{-5}$ Pós: $1,5 \times 10^{-9}$
Nota	Constelación con Interferencia coherente e intermitente. BER = $1,8 \times 10^{-5}$ pre-FEC, corregido para tener BER pos-FEC = $1,5 \times 10^{-9}$ .		
28 dB	-28,1	20,8	Pré: $1,5 \times 10^{-3}$ Pós: $3,9 \times 10^{-5}$
Nota	MER = 20,8 (MER < 23, próximo a caer). BER pre-FEC = $1,4 \times 10^{-3}$ y pos-FEC = $3,6 \times 10^{-5}$ .		
29 dB	-28,5	20,6	Pré: $1,4 \times 10^{-3}$ Pós: $3,6 \times 10^{-5}$
Nota	Fuerte presencia de ruido e interferencia coherente. Después de ser atenuado hasta 29dB, el link de videoconferencia cayó. Ver figura 10.		

Pese a los valores de atenuación aplicados, el sistema de videoconferencia continuo en conexión y la degradación no fue perceptible.

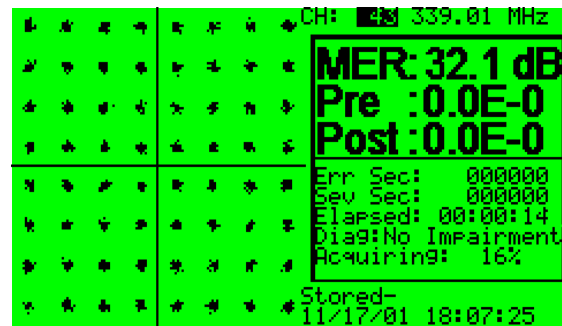


Fig. 9, Constelación 64 QAM con atenuación de 3 dB

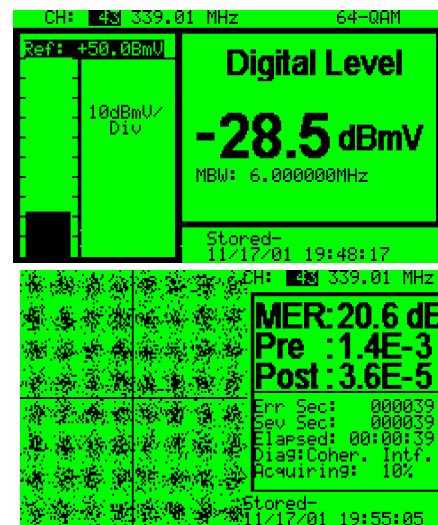


Fig. 10, Constelación 64 QAM con atenuación de 29 dB

La figura 11 ilustra los estados espectrales de la señal con atenuaciones de 3 dB y 29 dB.

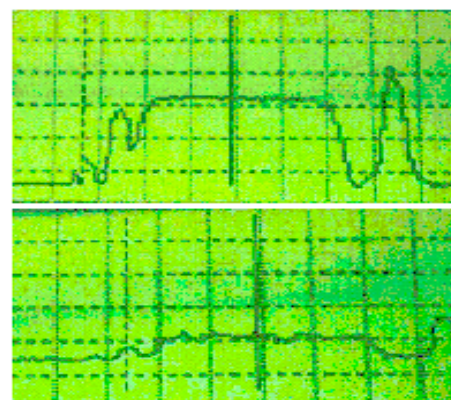


Fig. 11, Espectros de frecuencia con atenuaciones de 3 dB y 29 dB

El canal de comunicación y el Modem, demuestran un óptimo rendimiento. Por esta razón los servicios de datos e Internet, y todo tipo de transmisión no sensible al retardo es efectuado con éxito en Cable Modem.

El problema, entonces, no es el canal de transmisión o el CM, pero si la gerencia de tráfico para servicios de *stream* continuos por parte de la especificación DOCSIS 1.0, que no fue diseñado y orientada para tráfico Multimedia y de VoIP.

## VII. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE VIDEOCONFERENCIA AL NIVEL DE RADIOFRECUENCIA (RF)

### A. Multitrayecto en Downstream

Fueron hechas medidas de campo utilizando un carro de prospección. Las pruebas fueron hechas en la explanada de los Ministerios en Brasilia, donde fue posible encontrar este fenómeno debido a la altura de los predios.

Fue abierta una sesión de videoconferencia, y fue siendo reducida la altura de la antena en busca de multitrayecto.

Comparado con un sistema analógico, en la que es perceptible una degradación progresiva, en un sistema digital existe o no presencia de señal. En un momento determinado, debido al alto multitrayecto, se perdió la señal y la conexión de videoconferencia cayó. Ver figura 12.

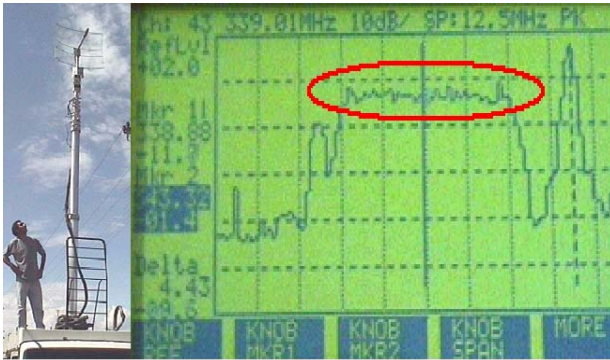


Fig. 12. Señal digital con presencia de Multitrayecto

### B. Ingresos y ruido Impulsional en Upstream

Las características del ambiente elegido para este *test* (predios) presentaban ingresos por múltiples usuarios (ruidos de conexiones internas de apartamentos, y otras fuentes como splitters, amplificadores de retorno, filtros, emisiones de otros servicios de RF, etc [3]). Fuentes de ruido impulsivo eran originadas por motores de ascensores, motores AC, etc.

En el dominio del tiempo (Fig. 13), observamos la aparición de ruido impulsivo (~13 dB) por acción de motores de elevadores. Teniendo en cuenta que para una tasa de 128 Kbps se tienen 15 fps (1 *frame* cada 66 ms), en videoconferencia esto podría hasta ser imperceptible por el ojo humano, desde que la duración del impulso sea pequeña.

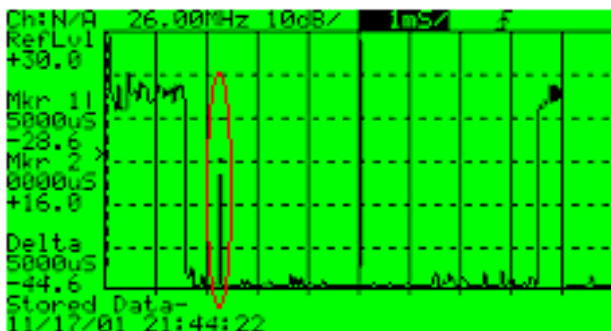


Fig. 13. Señal con presencia de ruido impulsivo

El ruido impulsional y los ingresos inciden negativamente sobre la BER, MER y la potencia media de la señal, mismo así, se verificó que esto afecta más el tráfico de datos que la transmisión multimedia y videoconferencia, siempre que estos

tipos de ruido no sean de mayor duración. Durante el *test* la conexión no cayó y el ruido presente no afectó significativamente el enlace ni la videoconferencia.

## VIII. CONCLUSIONES

De este trabajo se puede verificar que muchos servicios, proyectados inicialmente para satisfacer las necesidades de los usuarios de Internet, tienen dificultades para dar soporte de calidad a otros servicios con características de tráfico continuo, simétrico y en tiempo real.

Las altas tasas de canal necesarias para soportar llamadas de videoconferencia con calidad usando DOCSIS 1.0, resultan en una relación costo/beneficio poco atractiva para el usuario.

Problemas de reserva de banda para alcanzar buena calidad, así como problemas de latencia, pérdida de paquetes y *jitter* fueron también manifiestos durante los *tests*.

Factores a tener en cuenta como clasificación de paquetes según el tráfico originado, flujos de servicio capaces de definir valores mínimos y máximos para el *throughput*, así como de tolerancia a la latencia y *jitter*, y que estos flujos puedan ser establecidos dinámicamente, son necesarios para incluir QoS para servicios en tiempo real como VoIP y videoconferencia.

Finalmente, no siendo satisfechos estos factores, se concluye que no es posible garantizar QoS para el servicio de Videoconferencia sobre *Cable Modem* bajo DOCSIS 1.0. Por tanto, no es recomendable su uso para servicios en tiempo real en cuanto no sean incorporadas herramientas que incluyan soporte a las necesidades requeridas.

Mecanismos de QoS como RSVP, IntServ o DiffServ, aparecen como alternativas viables para la videoconferencia y pueden ser implementados sobre la especificación para dar soporte fin-a-fin a servicios diferenciados. Asimismo, nuevas especificaciones de la CableLabs como DOCSIS 1.1 y Packet Cable, así como la más reciente DOCSIS 2.0 de la Terayon, prometen la inclusión de QoS para servicios en tiempo real.

## IX. RECONOCIMIENTOS

Los autores agradecen a los funcionarios de la *Linkexpress*, proveedor del servicio de transmisión de datos en MMDS en Brasilia, por las facilidades para la realización de este trabajo.

## X. REFERENCIAS

- [1] CableLabs, "Cable Data Modem Performance Evaluation – A primer for Non-Technical Readers" – White Paper – 15 de Noviembre, 1996.
- [2] DOCSIS - Data over Cable Service Interface Specifications; "Radio Frequency Interface Specification; SP-RFI-105-991105" – 1999.
- [3] Azzam, Albert "High Speed Cable Modems"-McGraw Hill Series on Computer Communications, 1997.
- [4] H. Liu, P. Mouchtaris, "Voice over IP Signaling: H.323 and Beyond", IEEE Communications Magazine, pp. 142-148, October, 2000.
- [5] IEEE – Transactions on Broadcasting– p.206 - "Delivery of Low Bit Rate Isochronous Stream Over the DOCSIS 1.0 Cable Television Protocol" – Junio 1999.
- [6] D. Fellows, D Jones "DOCSIS Cable Modem Technology", IEEE Communications Magazine, pp. 202-209, March. 2001.
- [7] Y. Lin, W. Yin, C. Huang, "An Investigation into HFC MAC Protocols: Mechanisms, Implementation, and Research Issues", IEEE Communications Surveys, Third Quarter 2000.
- [8] Mendez I. Lineamientos Generales para la planeación de Experimentos - Monografía No. 15, Vol. 15 IIMAS.



**Eduardo Tommy López Pastor** recibió el grado de MSc en la Universidad de Brasilia. En los dos últimos años trabajo sobre sistemas ADSL, Cable Modem, MMDS y Videoconferencia. Su área de interés son las Redes de Acceso y Redes de Transporte en Telecomunicaciones. Actualmente estudia Doctorado en Telecomunicaciones en la Universidad de Brasilia.



**Humberto Abdalla Junior** es Profesor de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Brasilia – Brasil. Recibió el grado de PhD en la Universidad de Limoges – Francia en 1982. Su área de concentración pedagógica y de investigación son los sistemas de Comunicaciones Ópticas, Sistemas de Comunicación, Microondas y Ondas Milimétricas.



**Luis Fernando Ramos Molinaro** es Profesor de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Brasilia – Brasil. Recibió el grado de PhD en la Universidad de São Paulo en 1991. Es actualmente consultor, y gerente de proyectos de Software y Redes. Su área pedagógica y de investigación esta relacionada a las redes de computadoras y al entorno *learning* interactivo.