

# Arquitectura para la interconectividad de la tecnología Bluetooth con redes IP cableadas para transporte de voz

Daryan F. Reinoso R.  
*dreinoso@unicauca.edu.co*

Juan P. Guzmán F.  
*jguzman@unicauca.edu.co*

Javier A. Hurtado G.  
*javhur@unicauca.edu.co*

Oscar M. Caicedo R.  
*omcaicedo@unicauca.edu.co*

Francisco O. Martínez P.  
*fomarti@unicauca.edu.co*

*Grupo de Ingeniería Telemática, Universidad del Cauca*

Fecha de recepción: 19-10-2007

Fecha de selección: 18-04-2008

Fecha de aceptación: 15-01-2008

## ABSTRACT

The present paper discusses the technology criteria and requirements necessary to build an architecture that allows interconnectivity between Bluetooth and Ethernet networks as basis to provide services of VoIP; additionally it details the results from an architecture validation process based on the simulation of scenarios and analysis of performance from a functional prototype for the delivery of those services.

## KEYWORDS

Bluetooth, PAN, BNEP, L2CAP, ACL, VoIP, CBR, VAD, RTP, simplex, full-duplex, CODEC.

## RESUMEN

En el presente documento se estudian los criterios y requerimientos tecnológicos necesarios para la construcción de una arquitectura que permita la interconectividad de Bluetooth con redes Ethernet como base para la prestación de servicios de VoIP; adicionalmente se detallan los resultados obtenidos a partir de un proceso de validación de la arquitectura con base en la simulación de una serie de escenarios y un análisis de desempeño de un prototipo funcional para la prestación de dichos servicios.

## PALABRAS CLAVE

Bluetooth, PAN, BNEP, L2CAP, ACL, VoIP, CBR, VAD, RTP, simplex, full-duplex, CODEC.

**Clasificación Colciencias: Tipo 1**

## I. INTRODUCCIÓN

Bluetooth es un sistema de radio que opera en la banda de frecuencia libre de 2.4 GHz, banda de frecuencia disponible en la mayor parte del mundo. En Colombia el Ministerio de Comunicaciones reglamenta su uso así: “Las bandas, 902 - 924 MHz, 2.400 - 2.483,5 MHz y 5.725 - 5.850 MHz se atribuyen a título secundario, conforme con la resolución 3382 de 15 de diciembre de 1995, para los sistemas de espectro ensanchado”.<sup>1</sup> Esto se ve reflejado directamente sobre el mercado de los dispositivos móviles, que experimenta una gran penetración de la tecnología Bluetooth gracias a la compatibilidad con las regulaciones internacionales existentes.

Bluetooth utiliza 79 canales de radio frecuencia con un ancho de banda de 1 MHz cada uno y una tasa máxima de símbolos de 1 MSímbolo/s. Después de que cada paquete es enviado en una determinada frecuencia de transmisión, ésta cambia a otra de las 79 frecuencias. El rango típico de operación de Bluetooth es menor a 10 metros, sin embargo se pueden alcanzar distancias de hasta 100 metros con el uso de amplificadores (Clase 1).<sup>2</sup>

Por otra parte, las redes que operan con el estándar IEEE 802.3 conocidas ampliamente como redes Ethernet, son unas de las más populares redes IP difundidas en el mercado. Esto es debido principalmente a su confiabilidad y simplicidad de instalación. Dichas redes han demostrado ser lo suficientemente robustas para la prestación de diversas clases de servicios, dentro de los que se encuentran los relacionados con VoIP.

VoIP es una tecnología que permite a los usuarios realizar llamadas telefónicas utilizando cualquier red IP en lugar de las tradicionales líneas telefónicas o las actuales redes celulares GSM. Los beneficios de VoIP están normalmente divididos en dos categorías: reducción de costos, y simplificación y convergencia de infraestructura. Es por esto que cada vez más empresas que se dedican a la prestación de servicios de VoIP se preocupan y orientan sus soluciones hacia un ambiente de interoperabilidad completo, que permita a sus clientes operar como entidades integradas altamente eficaces.

En el presente artículo y como parte del trabajo realizado al interior del Grupo de Interés en Desarrollo de Aplicaciones Móviles e Inalámbricas W@P Colombia perteneciente al Grupo de Ingeniería Telemática, se estudian los criterios y requerimientos tecnológicos necesarios para la construcción de una arquitectura que permita la interconectividad de Bluetooth con redes Ethernet como base para la prestación de servicios de VoIP. Adicionalmente se detallan los resultados obtenidos a partir de un proceso de validación con base en la simulación de una serie de escenarios y un análisis de desempeño de un prototipo funcional para la prestación de dichos servicios.

En el proyecto denominado “Voice over Bluetooth based MANETs” se trabaja casi sobre el mismo concepto de establecimiento de comunicaciones de voz sobre Bluetooth usando dispositivos móviles. Sin embargo su enfoque es el de transferir voz sobre una red Bluetooth pura, usando puntos de acceso para alcanzar la Pasarela

(Gateway) Telefónica. Se transmiten datos provenientes de la voz sin comprimir sobre una conexión Bluetooth RFCOMM y se diseña un protocolo de red ad hoc reactivo ajustado especialmente para Bluetooth.

Debido a la falta de dispositivos físicos, se simuló extensamente la escalabilidad de la red *ad hoc*. Puesto que la implementación física de la red ad hoc no se hizo disponible y el método de enviar datos de audio no es tan eficiente como RTP, no se pueden utilizar directamente los conceptos desarrollados. Así es necesario considerar los aspectos directamente relacionados con la prestación de servicios de VoIP.<sup>3</sup>

Este artículo ha sido estructurado así: en la sección 2 se describe de manera general la tecnología Bluetooth. En la sección 3 se describe la tecnología Ethernet. En la sección 4 se estipulan los criterios para el establecimiento de conexiones Bluetooth con capacidades IP. En la sección 5 se detallan las consideraciones para el transporte de IP sobre redes Bluetooth. En la sección 6 se explica el diseño de la arquitectura propuesta. Finalmente

en la sección 7 se resumen y explican los resultados obtenidos a partir del proceso de validación.

## 2. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA TECNOLOGÍA INALÁMBRICA BLUETOOTH

La pila de protocolos (*stack*) Bluetooth se puede apreciar en la Figura 1. La capa de comunicación más baja es llamada banda base. Esta capa implementa el canal físico real, controla la sincronización de las unidades Bluetooth y la secuencia de saltos en frecuencia, además es la responsable de la información para el control de enlace a bajo nivel como el reconocimiento, control de flujo y caracterización de carga útil y soporta dos tipos de enlace: *asíncrono no orientado a la conexión* (ACL, *Asynchronous Connection-oriented*), para datos y *síncrono orientado a la conexión* (SCO, *Synchronous Connection-Oriented*), principalmente para audio. Los dos pueden ser multiplexados para usar el mismo enlace de radio frecuencia (RF, *Radio Frequency*). Usando ancho de banda reservado, los enlaces SCO soportan tráfico de voz en tiempo real.

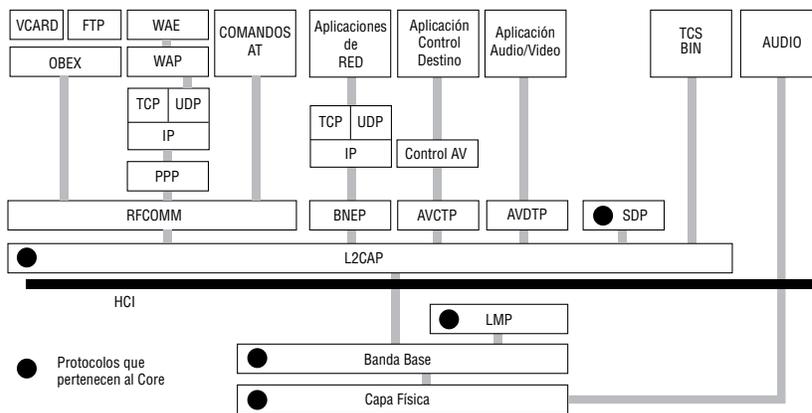


Figura 1. Stack de Protocolos de Bluetooth.<sup>2</sup>

El Protocolo de Gestión de Enlace (LMP, *Link Manager Protocol*) es el responsable de la autenticación, encriptación, control y configuración del enlace. El LMP también se encarga del manejo de los modos y consumo de potencia, además soporta los procedimientos necesarios para establecer un enlace SCO.

El Interfaz del Controlador de Enlace (HCI, *Host Controller Interface*) brinda un método de interfaz uniforme para acceder a los recursos de hardware de Bluetooth. Éste contiene una interfaz de comando para el *controlador banda base* y la *gestión de enlace* y para acceder al hardware.

El Protocolo de Control y Adaptación de Enlace Lógico (L2CAP, *Logical Link Control and Adaptation Protocol*), corresponde a la capa de enlace de datos. Ésta brinda servicios de datos orientados y no orientados a la conexión a capas superiores. L2CAP multiplexa los protocolos de capas superiores con el fin de enviar varios protocolos sobre un canal banda base. Con el fin de manipular paquetes de capas superiores más grandes que el máximo tamaño del paquete banda base, L2CAP los segmenta en varios paquetes banda base. La capa L2CAP del receptor reensambla los paquetes banda base en paquetes más grandes para la capa superior. La conexión L2CAP permite el intercambio de información referente a la calidad de la conexión, además maneja grupos, de tal manera que varios dispositivos pueden comunicarse entre sí. El Protocolo de Descubrimiento de Servicio (SDP, *Service Discovery Protocol*) define cómo actúa una aplicación de un cliente Bluetooth para descubrir servicios disponibles de servidores

Bluetooth, además de proporcionar un método para determinar las características de dichos servicios.

El protocolo RFCOMM (*Radio Frequency Communication*) ofrece emulación de puertos seriales sobre el protocolo L2CAP. RFCOMM emula señales de control y datos RS-232 sobre la banda base Bluetooth. Éste ofrece capacidades de transporte a servicios de capas superiores (por ejemplo, OBEX, *OBject eXchange*) que usan una línea serial como mecanismo de transporte. RFCOMM soporta dos tipos de comunicación, directa entre dispositivos actuando como punto terminal de la comunicación y dispositivo-modem-dispositivo, además tiene un esquema para emulación de *null modem*. El TCS binario (*Telephony Control protocol Binary*) es un protocolo que define la señalización de control de llamadas, para el establecimiento y liberación de una conversación o una llamada de datos entre unidades Bluetooth. Además, éste ofrece funcionalidad para intercambiar información de señalización no relacionada con el progreso de llamadas.

La capa de *Audio* es una capa especial, usada sólo para enviar audio sobre Bluetooth. Las transmisiones de audio pueden ser ejecutadas entre una o más unidades usando muchos modelos diferentes. Los datos de audio no pasan a través de la capa L2CAP, pero sí directamente después de abrir un enlace y un establecimiento directo entre dos unidades Bluetooth.

En este mismo sentido, las redes Ethernet tienen un comportamiento por capas ya establecido.

### 3. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA TECNOLOGÍA ETHERNET

#### A. Aspectos generales

El estándar Ethernet IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) 802.3 es un estándar ampliamente usado en redes LAN.<sup>4</sup> Existen muchas aplicaciones software desarrolladas para ser usadas en este tipo de redes, adicionalmente al gran conocimiento acerca de estas redes que se encuentra en el dominio de los administradores y desarrolladores de redes. Otra de las ventajas mostradas por estas redes es la completa compatibilidad y uso generalizado del *stack* TCP/IP sobre *Ethernet*.

Este estándar internacional está concebido para abarcar varios tipos de medios y técnicas para una variedad de tasas de señal. Ethernet se encuentra ubicado dentro del nivel de acceso a red del *stack* de protocolos TCP/IP.<sup>4</sup>

#### B. Aproximación a un escenario de interconectividad

Se debe considerar la inminente diferencia en la naturaleza del medio de propagación de las señales que representan el flujo de datos en ambas tecnologías. Por una parte, la utilización de un medio cableado para la conectividad en la tecnología Ethernet comparado con la comunicación vía interfaz aire propia de Bluetooth, presenta un desafío de conectividad. Por lo tanto es necesaria la definición de un “puente” o elemento de interconexión que permita abarcar la brecha existente entre ambas tecnologías en lo que se refiere a medios de propagación diferentes.

Por otra parte, el direccionamiento utilizado por cada una de las tecno-

logías es un factor que influye sobre la forma de interconexión y reenvío exitoso de paquetes hacia su destino específico, así que debe ser muy tenido en cuenta a la hora de la definición del elemento de conectividad.

Además, las velocidades de transmisión propias de cada tecnología han de ser evaluadas y contrastadas con las requeridas en sistemas de transmisión de paquetes de voz sobre redes de datos, es decir, definir el ancho de banda necesario y suficiente para la prestación de servicios de voz.

### 4. ESTABLECIMIENTO DE CONEXIONES BLUETOOTH CON CAPACIDADES IP

Para definir la arquitectura que soporte servicios de VoIP para clientes móviles, éstos deberían escanear regularmente dispositivos Bluetooth que ofrezcan sus servicios como *gateway* IP. Actualmente existen dos maneras de transportar IP sobre Bluetooth. Una de ellas es crear una línea serial virtual, llamada RFCOMM y entonces crear una conexión PPP (*Point to Point Protocol*) sobre ésta.<sup>5</sup> La forma más reciente es llamada comúnmente como PAN (descrita en el perfil PAN, *Personal Area Networking de Bluetooth*)<sup>7</sup> y usa directamente la capa Bluetooth a través del protocolo BNEP (*Bluetooth Network Encapsulation Protocol*),<sup>6</sup> lo cual resulta en un encabezado más bajo por paquete final; esto conduce a pensar que ésta es la forma más efectiva para crear enlaces Bluetooth con capacidades IP. La inclusión del perfil PAN dentro de la especificación Bluetooth, ha hecho que algunas de las implementaciones del *stack* Bluetooth incorporen un soporte funcional del perfil PAN.

### A. Conceptos básicos para la implementación de una red de área personal Bluetooth

La especificación Bluetooth define perfiles o esquemas estándar de los escenarios de desarrollo para las aplicaciones Bluetooth. Uno de estos escenarios corresponde al perfil de red de área personal o perfil PAN. El perfil PAN brinda capacidades de red a los dispositivos Bluetooth para lo cual utiliza el Protocolo de Encapsulamiento de Red BNEP, de gran importancia ya que encapsula los paquetes provenientes de varios protocolos de red (IPv4, IPv6 (*Internet Protocol version 6*) e IPX (*Internet Packet Exchange*) entre otros, y los transporta directamente sobre la capa de protocolo L2CAP de Bluetooth, haciendo posible que la red Bluetooth se comporte y forme parte de una red TCP/IP logrando un escenario de interoperabilidad con redes cableadas perteneciente al nivel de transporte de red del stack.

### B. Protocolo de encapsulamiento de red (BNEP)

BNEP encapsula los paquetes de los protocolos de red más utilizados, para ser transportados sobre la capa L2CAP. BNEP soporta los mismos protocolos de red soportados por el estándar IEEE 802.3 para encapsulamiento Ethernet. BNEP requiere además un formato de encapsulamiento que optimice los bits de cabecera, de tal manera que se ofrezca un manejo eficiente del ancho de banda.<sup>6</sup>

### C. Perfil de red de área personal

El perfil PAN describe cómo usar el protocolo BNEP para brindar capacidades de red a los dispositivos

Bluetooth. El perfil PAN presenta los siguientes requerimientos funcionales:

- Define una red IP *ad hoc*, dinámica y personal.
- Debe ser independiente del sistema operativo, lenguaje y dispositivo.
- Brinda soporte para los protocolos de red más comunes como IPv4 e IPv6.
- Brinda soporte para puntos de acceso en donde la red puede ser una LAN corporativa, GSM (Global System for Mobile communications) u otro tipo de red de datos.
- Debe acomodarse a los recursos reducidos disponibles en los dispositivos pequeños respecto a memoria, capacidad de procesamiento y uso de interfaces.<sup>7</sup>

### Consideraciones

- El perfil PAN debe soportar IPv4 e IPv6. Los otros protocolos pueden estar habilitados o no.
- En una red generalizada, la trayectoria del tráfico originado desde un dispositivo hacia otro puede estar conformada por uno o varios medios de transporte, por ejemplo, Bluetooth, Ethernet, Token Ring, PSTN (*Public Switched Telephone Network*), ISDN (*Integrated Services Digital Network*), ATM (*Asynchronous Transfer Mode*), GSM (*Global System for Mobile communications*), etc.

Son tres escenarios propuestos para el perfil PAN: Puntos de acceso a una red (NAP, *Network Access Point*), Grupo de red *ad hoc* (GN, *Group Ad hoc Networks*) y conexiones Usuario

PAN-Usuario PAN (PANU-PANU, PAN *User*-PAN *User*).

Cada uno de estos escenarios define el rol y el servicio que deben asumir los dispositivos involucrados en una de estas arquitecturas.

#### D. Criterios definidos

Se identifican los factores que afectan las comunicaciones de voz en redes IP con el objetivo de deducir los parámetros y criterios a tomar en cuenta para la definición de la arquitectura, dichos factores se encuentran estipulados en la Tabla 1.

A fin de transportar tráfico VoIP de manera que se puedan prestar servicios satisfactoriamente soportados sobre la arquitectura, se obtienen los siguientes criterios para la construcción de ésta:

- Los perfiles y protocolos necesarios tales como PAN y BNEP para lograr la interconexión de dispositivos Bluetooth con dispositivos pertenecientes a redes cableadas Ethernet.
- Factores que afectan la calidad de la voz en redes de paquetes.

- Implementaciones del stack Bluetooth en el sistema operativo Linux.

## 5. CONSIDERACIONES DE REDES BLUETOOTH CON CAPACIDADES IP

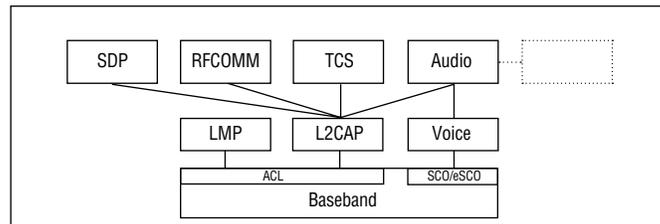
En la prestación de servicios de voz, debe tenerse en cuenta que Bluetooth puede prestar dicho servicio empaquetando la información codificada de voz o generando flujos (streams) de audio sobre enlaces síncronos. Pero sólo a nivel L2CAP es gestionado el empaquetamiento de servicios de niveles superiores como telefonía IP, soportando simultáneamente capas de mayor jerarquía en la pila de protocolos (Figura 2).

Los requerimientos funcionales de la capa L2CAP incluyen multiplexación de protocolos y canales, segmentación y reensamblado, control de flujo por canal, control de errores y gestión de grupos. L2CAP soporta el protocolo de control de enlace e interfaces con otros protocolos de comunicación tales como SDP, RFCOMM, TCS y BNEP.

Basado en parámetros de QoS al prestar servicios de voz sobre IP, se llega a niveles de tolerancia que dependen de la calidad que se requiera (Tabla 2).

Tabla 1. Factores que afectan las comunicaciones de VoIP.

Factor de compresión
Perdida de paquetes
Retardo
Fluctuación de fase (jitter)
Nota Media de Opinión (MOS, Mean Opinion Store)
Eco
Encapsulamiento de VoIP
Ancho de banda



**Figura 2.** Flujos de datos L2CAP en la arquitectura de protocolos Bluetooth.<sup>2</sup>

**Tabla 2.** Niveles de tolerancia en VoIP.<sup>8</sup>

	Calidad Alta	Calidad Media	Calidad Baja
Pérdida de paquetes	1%	3%	5%
Retardo	150 mseg	400 mseg	600 mseg
Jitter	20 mseg	50 mseg	75 mseg

Se debe tener en cuenta un factor muy importante, como es el ancho de banda (Tabla 3) dicho requisito dependerá del número de comunicaciones simultáneas que se quieran soportar. En un entorno LAN, donde las velocidades de transmisión van desde 10Mbps a 100Mbps, se permite el uso de G.711 con un ancho de banda de 84,7Kbps. En escenarios donde el ancho de banda es más escaso se puede elegir G.723 con un ancho de banda de 27,2Kbps o el G.729 con un ancho de banda de 28,8Kbps.<sup>8</sup>

Los canales ACL brindan confiabilidad en presencia de interferencia, incluso cuando hay generación de grandes ráfagas de información. El retardo generado por enlaces ACL al

retransmitir es pequeño, por ejemplo un ACK (*Acknowledge*) puede ser recibido dentro de los 1.25 mseg siguientes. Esto genera la posibilidad de mejorar la retransmisión en aplicaciones sensibles al retardo, tales como aplicaciones de tiempo real y flujos (*streams*) de audio o video. El periodo de retransmisión puede ser configurado con la opción *Flush Timeout*. Además, los enlaces ACL brindan calidad en presencia de interferencia respecto de los enlaces SCO. Igualmente, los enlaces ACL pueden soportar anchos de banda variables y asimétricos requeridos por ciertas aplicaciones. Estas son las principales ventajas de usar enlaces ACL en vez de los SCO para

**Tabla 3.** Ancho de banda requerido por CODECs.<sup>8</sup>

Códec de Audio	Ancho de banda comprimido	Ancho de banda paquetizado	Ancho de banda en Ethernet
G.723	6,3 Kbps	17 Kbps	27,2 Kbps
G.729	8 Kbps	24 Kbps	28,8 Kbps
G.711	64 Kbps	74,6 Kbps	84,7 Kbps

aplicaciones de tiempo real. Los tipos de servicios garantizados por enlaces ACL brindan retardos y anchos de banda que se requieran, definiendo así ciertos parámetros que permitan la evaluación del comportamiento del enlace, tales como el retardo, ancho de banda, pérdida de paquetes y *jitter*,<sup>8</sup> a fin de prestar servicios de voz en vías de la validación y evaluación de la arquitectura propuesta.<sup>2</sup>

## 6. DISEÑO DE LA ARQUITECTURA

Una característica concreta de la especificación Bluetooth v2.0 es la adición de una interfaz para *networking*, la cual permite la implementación de IP sobre una encapsulación de red Bluetooth. BNEP es soportado en la mayoría de los sistemas operativos actuales de dispositivos móviles.

Una de las prioridades de la construcción de la arquitectura es crear una conexión IP transparente desde la fuente hasta el destino, cuyos

datos viajen a través de un enlace inalámbrico Bluetooth y a través del enlace provisto por la red cableada IP tradicional *Ethernet*. Esta conexión tiene que ser independiente de la carga de paquete IP real y simétrica sobre el enlace Bluetooth con el objetivo de realizar el tunneling\* de los datos bidireccionalmente a los respectivos puntos de comunicación; todo esto partiendo de la premisa de interconectividad con redes cableadas IP tales como *Ethernet*.

Como en un sistema VoIP tradicional, los clientes deben estar registrados en un servidor de VoIP tal como un servidor H.323 o SIP (*Session Initiation Protocol*) para que éstos puedan hacer llamadas telefónicas entre ellos.

El protocolo SIP realiza la señalización para establecer la conexión e intercambiar parámetros de conexión de datos, mientras que los datos de voz reales son intercambiados con el protocolo RTP.

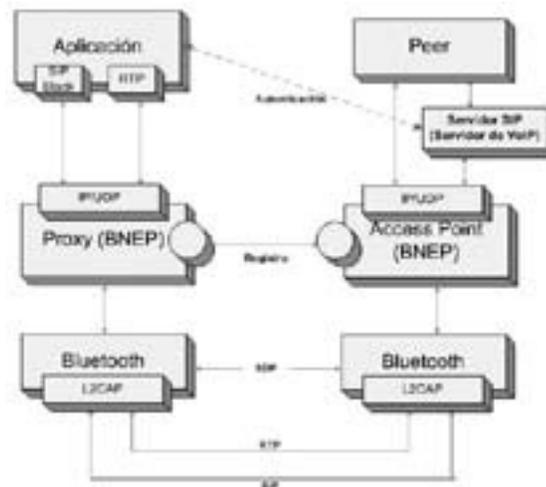


Figura 3. Arquitectura propuesta

\* Tunneling: consiste en encapsular un protocolo de red sobre otro creando un túnel dentro de una red de comunicaciones.

SIP no fue el primero, ni es el único, protocolo de VoIP usado hoy en día (H.323, MGCP (*Media Gateway Control Protocol*), IAX (*Inter-Asterisk eXchange*), entre otros), pero actualmente éste parece ser el más popular entre los fabricantes de hardware. Las ventajas del protocolo SIP radican en la amplia aceptación y la flexibilidad arquitectural (conocido como simplicidad), razón por la cual este protocolo es seleccionado como un componente de la arquitectura.

Estos elementos de llamadas VoIP son mantenidos en la arquitectura propuesta para conservar compatibilidad con los clientes de telefonía VoIP genéricos tales como los encontrados en los escenarios de comunicaciones actuales.

La Figura 3 ilustra la arquitectura global proyectada y los componentes individuales necesarios para brindar soporte a comunicaciones de clientes VoIP funcionales dentro de un marco de interconectividad de las tecnologías.

Específicamente, la aplicación necesaria en cada uno de los extremos para el establecimiento de la comunicación (*softphones*) no hace parte de la arquitectura planteada, sin embargo se incluye en el diagrama representativo debido a la evidente interacción presentada por parte de éste con los demás elementos de la arquitectura.

#### *A. Registro de los usuarios en el punto de acceso*

Para la futura implementación de servicios de voz que se soporten sobre la arquitectura propuesta, ésta debe mantener a los protocolos de capa

superiores tales como SIP y RTP inadvertidos del “puente” que hace posible la interoperabilidad entre Bluetooth y la red cableada IP.

Así, la entidad o protocolo seleccionado para que sea posible la transición de los paquetes del mundo inalámbrico Bluetooth hacia el cableado *Ethernet* es BNEP, el cual permite la creación de flujos de datos independientes entre los puntos finales de la conexión. El protocolo BNEP se encarga entonces de los procesos de encapsulado, desencapsulado y manejo de cabeceras de tecnología. Paquetes con fuente o destino desconocidos o no registrados deberían ser desechados para minimizar la congestión del puente.

#### *B. Punto de acceso*

Para comunicarse con otros terminales pertenecientes a la red cableada *Ethernet*, el usuario móvil requiere un punto de acceso conectado a la red IP cuyo propósito sea el de reenviar datos desde y hacia el dispositivo de usuario. Este punto de acceso corresponde a uno de los dos puntos claves para el enlace inalámbrico Bluetooth, localizado en una terminal con conectividad hacia la red IP o en su defecto hacia Internet.

El punto de acceso es un nivel de abstracción por encima del protocolo IP, y no necesita interpretar el contenido real del paquete para funcionar apropiadamente sino realizar el puente en la brecha entre las interfaces Bluetooth e IP tan transparentemente como sea posible.

Existen dos formas para realizar esta función, representadas por dos perfiles diferentes en la especifici-

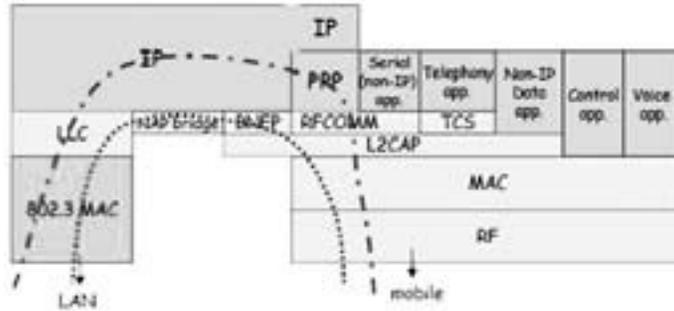


Figura 4. Estructura de protocolo para soluciones de IP sobre Bluetooth.

cación Bluetooth, cada uno con su respectivo soporte protocolar. Sin embargo, la opción seleccionada establece el uso del perfil PAN con su protocolo de soporte BNEP. La Figura 4 detalla la diferencia entre las dos formas mencionadas. Mientras que la interfaz Bluetooth ofrece una conexión inalámbrica regular para el dispositivo móvil, la interfaz del punto de acceso conectada a la red IP será el componente que comunica directamente a éste con los usuarios finales requeridos, determinados por el servidor SIP en el caso de señalización, o el cliente VoIP en caso de datos de audio RTP. El dispositivo móvil se autorregistrará en el servidor SIP, tal como se hace en sistemas de VoIP estándar, para posterior trámite de llamadas por parte de éste. Para que el punto de acceso sea identificable por los dispositivos móviles, éste tendrá que publicar un servicio SDP o PAN conforme con la especificación Bluetooth.<sup>6</sup>

### C. Resolución de direcciones

Para lograr la interconexión entre los usuarios pertenecientes a la red Bluetooth con los usuarios pertenecientes a la red cableada *Ethernet*, el punto de acceso debe ser capaz de

referenciarlos indistintamente. Esto es posible gracias a la incorporación del protocolo BNEP dentro del stack manejado por el punto de acceso. Así el punto de acceso debe estar provisto con una tabla de enrutamiento donde estarán registradas las interfaces de salida por las cuales los paquetes deben ser reenviados dependiendo del usuario destino.

El punto de acceso conectado a la red Bluetooth sirve como un enrutador de interfaz dual para todos los paquetes entre el móvil y el destino objetivo. Esta característica puede ser implementada utilizando NAT (Network Address Translation), el cual permite intercambiar paquetes entre dos redes que se asignan mutuamente direcciones incompatibles y que consiste en convertir en tiempo real las direcciones utilizadas en los paquetes transportados.

### D. Proxy (BNEP)

El segundo punto clave final para el enlace inalámbrico está localizado en el dispositivo móvil en sí. En lugar de incluir la funcionalidad Bluetooth directamente en el cliente VoIP, la segregación de funcionalidades interactuando entre ellas es una opción más favorable pensando en los servicios

que debería soportar la arquitectura. En general debido a que una piconet puede constar de 8 dispositivos (1 maestro y 7 esclavos), los dispositivos móviles pueden conectarse a más de un punto de Acceso a la vez. Sin embargo, las posibilidades de ejecutar múltiples conexiones y escaneos se deben evaluar particularmente en cada una de las implementaciones del stack Bluetooth posibles. Por ejemplo, en el stack Blues, el “demonio”<sup>\*\*</sup> utilizado es pand, el cual permite la creación de solo una conexión por “demonio”; esto significa que si se quiere establecer conexiones con dos puntos de acceso se necesitaría correr dos pand.

Consideraciones especiales de funcionamiento simultáneo de estos “demonios” o procesos, dependiendo del sistema operativo y la implementación del stack Bluetooth particular del dispositivo móvil, deben ser tenidas en cuenta al momento de implementación de servicios basados en la arquitectura. Por ejemplo, cuando uno de los demonios establece una conexión con un punto de acceso, el

otro constantemente trata de descubrir y conectarse a un punto de acceso interfiriendo de algún modo con la conexión ya establecida.<sup>6</sup>

#### E. Procedimiento de conexión

El procedimiento necesario para establecer una conexión entre los usuarios móviles y el punto de acceso (Figura 5) es:

1. Realizar una búsqueda de dispositivos Bluetooth disponibles (Inquiry).
2. De los dispositivos encontrados, escoger uno de ellos para conexión, que no haya sido seleccionado. Si no se encuentran dispositivos, regresar al paso 1.
3. Usar SDP para indagar sobre el ofrecimiento de conectividad para perfil PAN con role NAP. Si el dispositivo no ofrece tal conectividad regresar al punto 2.
4. Conectarse al dispositivo. Si la conexión falla, regresar al punto 2.
5. Si la conexión se rompe, regresar al punto 1.

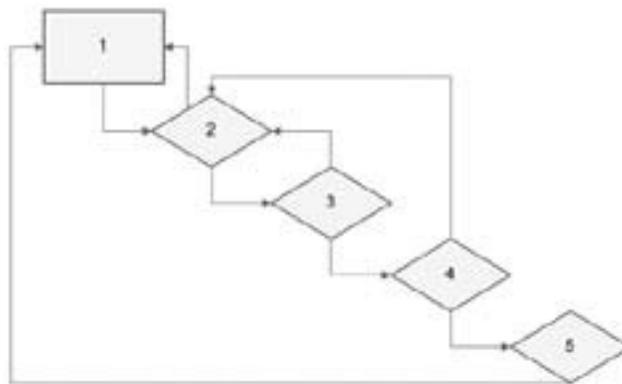


Figura 5. Proceso de establecimiento de conexión de los dispositivos móviles.

\*\* Demonio: proceso en terminología de sistemas operativos Unix.

Una vez establecida la conexión Bluetooth con capacidades IP, se procede a realizar los procedimientos regulares para el establecimiento de una llamada telefónica VoIP.

## 7. RESULTADOS DE LA VALIDACIÓN

Para la simulación de los escenarios se utilizó la herramienta de simulación NS-2<sup>\*\*\*</sup> con el respectivo paquete de simulación para Bluetooth UCBT,<sup>\*\*\*\*</sup> generando las gráficas a partir de la tabulación de resultados en una hoja de cálculo.

### A. Primer escenario

Se plantea una comunicación donde el tipo de transmisión sea *simplex*; como su definición lo indica el flujo de información viajará en un solo sentido y se considera un flujo constante de datos (CBR), en el caso de Bluetooth bien puede ser del Maestro hacia el (los) esclavo(s), ó de (los) esclavo(s) hacia el maestro. Además, teniendo en cuenta que una *piconet* puede soportar hasta 7 esclavos activos al mismo tiempo, obviamos el caso donde la transmisión la realiza un solo esclavo ya que sería un caso de 100% de eficiencia en paquetes recibidos, un retardo mínimo y ancho de banda dedicado a una sola comunicación.

Teniendo todo esto como precedente, se plantean las simulaciones donde la información es enviada desde 2 hasta 7 esclavos incrementando de uno en uno hacia el mismo maestro, y el caso opuesto donde el maestro transmite hacia 2 esclavos, incrementando estos últimos de uno en uno hasta 7, de tal forma que se sature la piconet y así poder analizar el caso más crítico desde el punto de vista de congestión en el canal de transmisión.

Tomando como referencia las características de cada uno de los CODEC, estos serán tenidos en cuenta al evaluar este escenario, puesto que de acuerdo con los datos, el CODEC que requiere mayor tamaño de paquete y una alta tasa de transmisión es el G.711, con 200bytes y 64Kbps, respectivamente. En cuanto a los tipos de paquetes Bluetooth manejados, encontramos el paquete DH5 el cual cuenta con la carga útil más grande que va desde 0 hasta 339 bytes. Luego de tabular los datos correspondientes al presente escenario, se plasman los resultados en las Figuras 6, 7, 8, 9 y 10. Dichas Figuras muestran el retardo, porcentaje de entrega y ancho de banda consumido en relación con el número de conexiones y flujos de datos generados para las respectivas conexiones Punto a Multipunto y Multipunto a Punto.

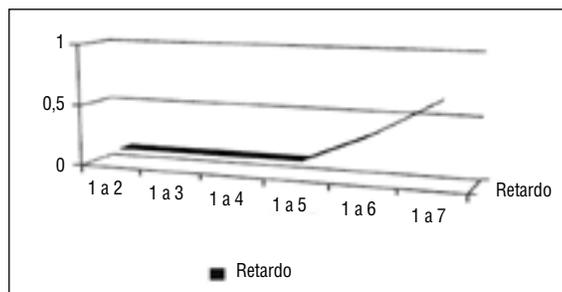


Figura 6. Retardo promedio conexiones punto a multipunto.

\*\*\* Se utilizó la versión 2.29.3 que puede ser descargada de la página oficial.

\*\*\*\*Se utilizó la versión 0.9.9.2 que puede ser descargada de la página oficial.

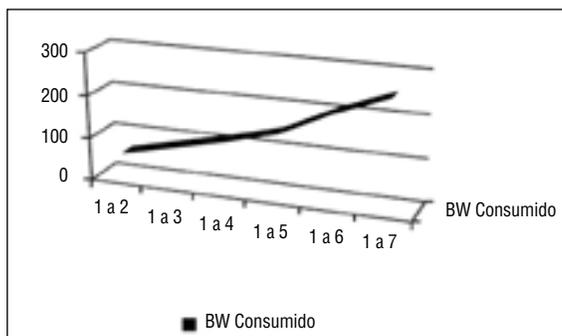


Figura 7. Ancho de banda consumido en conexiones punto a multipunto.

En la Figura 6 se aprecia que el desempeño del sistema con este tipo de conexiones para tráfico de voz cumple con las condiciones de calidad de servicio hasta cinco conexiones. A partir de seis conexiones simultáneas el desempeño sufre una degradación considerable (el retardo alcanza un máximo de 0,643 mseg).

La pérdida de paquetes en este escenario es nula; además el ancho de banda consumido por los flujos de datos (Figura 7 y Figura 10) se ve en incremento, conforme aumenta el número de conexiones soportadas por el punto de acceso de la piconet.

En la Figura 8 se aprecia que el retardo de las conexiones permanece por debajo de los 150mseg sólo hasta tres conexiones con el punto de acceso, es decir, por recepción se sufre una degradación de desempeño más considerable comparado con transmisión.

Este fenómeno ocurre debido principalmente al sistema de manejo de colas en recepción. Esto se ve reflejado directamente en el número de paquetes perdidos promedio, medidos durante la simulación (Figura 9); por consiguiente, es recomendable configurar una cola de recepción por cada conexión establecida que permita optimizar esta situación.

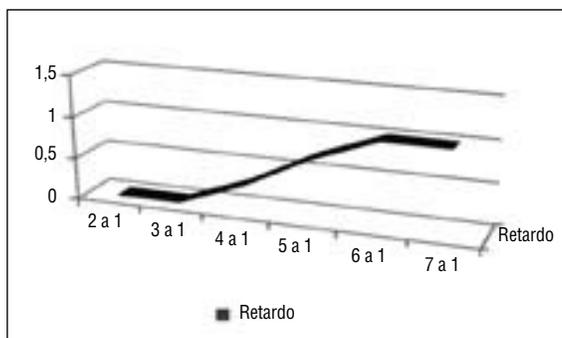


Figura 8. Retardo promedio en conexiones multipunto a punto.

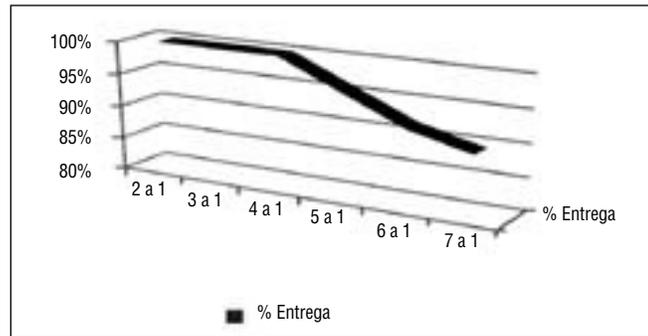


Figura 9. Porcentaje de entrega promedio conexiones multipunto a punto.

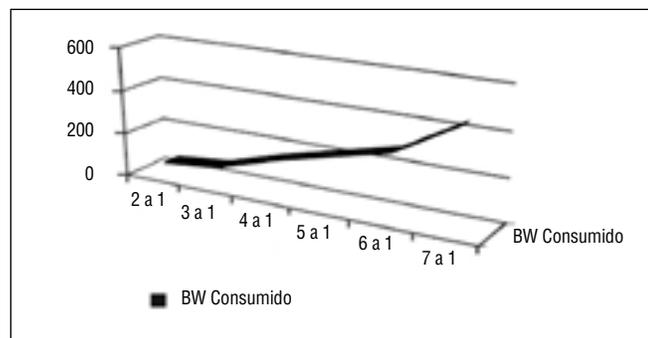


Figura 10. Ancho de banda consumido en conexiones multipunto a punto.

### B. Segundo escenario

Luego de evaluar la conexión simplex con tráfico constante de datos (CBR), consideramos la conexión *full-duplex* como el tipo de conexión que representa una transmisión de voz, siendo el punto de acceso (representado por el nodo maestro) el encargado de enlazar dichas conexiones que representan conversaciones.

Teniendo en cuenta las características de cada uno de los CODEC, puesto que su tamaño de paquete y tasa de transferencia de datos varían para cada uno de ellos, evaluamos los 3 más representativos (Tabla 3) con los diferentes tipos de paquetes plan-

teados en la especificación Bluetooth. Se evaluó el desempeño para los tipos de paquetes que no implementan FEC, ya que estos ofrecen una mayor capacidad de carga útil, por consiguiente mayor ancho de banda por enlace. Sumado a esto, a partir de la especificación Bluetooth 2.0 + EDR se implementan 6 nuevos tipos de paquetes que operan con tasas de datos mejoradas (2-DH1, 3-DH1, 2-DH3, 3-DH3, 2-DH5 y 3-DH5) que a diferencia de las especificaciones anteriores, muchos de los dispositivos aún no los soportan, considerando así como paquetes apropiados para la simulación los DH1, DH3 y DH5. Los retardos medidos por el simu-

lador representan cada uno de los retardos promedios por salto. Debido a que la comunicación se hace entre dos terminales móviles a través de un punto de acceso representado por el nodo maestro, para obtener el retardo extremo a extremo de los paquetes durante la comunicación se deben sumar los retardos de cada uno de los dos saltos. En cuanto al ancho de banda, éste es calculado con base

en el número de paquetes enviados durante la comunicación, la tasa de transferencia y el tamaño de paquete propios de cada CODEC, además del número de flujos de comunicaciones y el tiempo de simulación. Por ejemplo, el ancho de banda consumido por el flujo de datos de tres comunicaciones simultáneas, CODEC G.711 y tipo de paquete DH1 se calcula como se muestra en (1):

$$BW_{consu} = \frac{N^{\circ} \text{ paq. env} * \text{tam. paq}(\text{bytes}) * N^{\circ} \text{ flujos} * 8\text{bits}}{t_{\text{ simulación}}(\text{mseg})} (\text{Kbps})$$

$$BW_{consu} = \frac{151 * 220 * 3 * 8}{5000} = 159.456(\text{Kbps})$$

El tamaño de paquete en este ejemplo es de 220 bytes conformados por 160 bytes de la carga útil del protocolo RTP codificado con G.711, 12 bytes de cabecera RTP, 8 bytes de cabecera UDP, 20 bytes de cabecera IP, 16 bytes de cabecera BNEP y 4 bytes de cabecera L2CAP.

Por tanto, el tamaño de los paquetes transmitidos por L2CAP para cada uno de los CODEC es:

- G.711 (tamaño de paquete transmitido es de 220 bytes).

- G.723.1 (tamaño de paquete transmitido es de 84 bytes).
- G.729 (tamaño de paquete transmitido es de 80 bytes).

Con base en el tamaño de paquete transmitido por cada CODEC se puede hacer un análisis comparativo evaluando dicho tamaño con la carga útil de cada tipo de paquete de conexiones ACL.

- DH1 (carga útil máxima de 27 bytes)

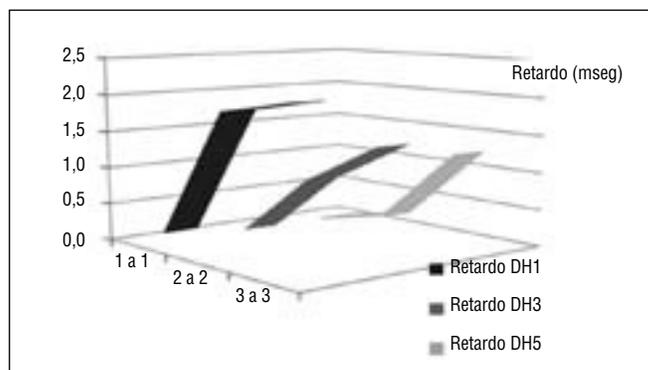
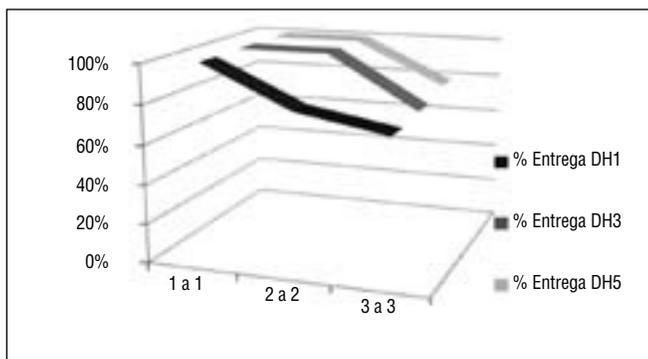
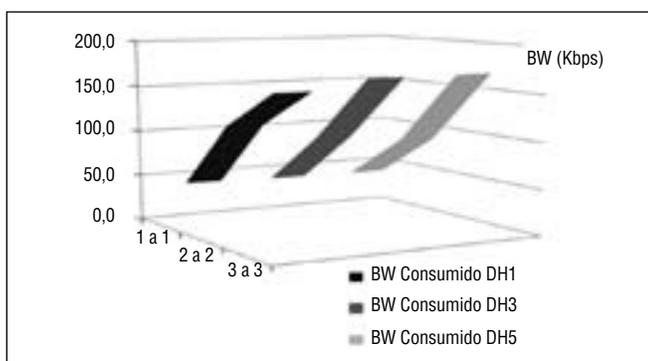


Figura 11. Retardo promedio para flujo de datos Full-Duplex CBR con CODEC G.711.



**Figura 12.** Porcentaje de entrega promedio para flujo de datos Full-Duplex CBR con CODEC G.711.



**Figura 13.** Ancho de banda consumido para flujo de datos Full-Duplex CBR con CODEC G.711.

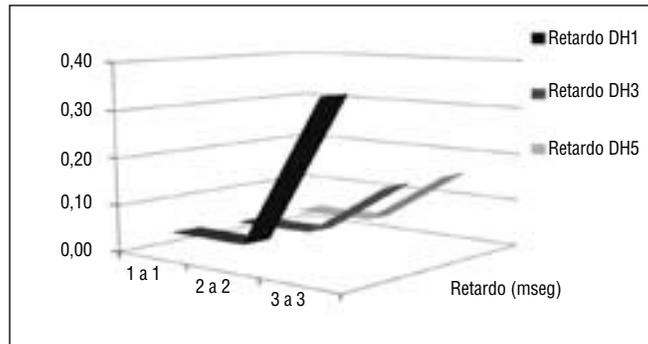
- DH3 (carga útil máxima de 183 bytes)
- DH5 (carga útil máxima de 229 bytes)

En la Figura 11 se puede observar que el tipo de paquete DH5 presenta el menor retardo en la transmisión en comparación con los paquetes DH3 y DH1, cuando se utiliza el CODEC G.711. Esto se debe a que en L2CAP se presenta mayor fragmentación para manejar la carga de paquetes generada por este CODEC.

El tipo de paquete seleccionado también tiene una influencia directa sobre el porcentaje de paquetes per-

dididos (Figura 12), dado que hasta las conexiones 2 a 2 con DH5 la pérdida es de 0%, y en conexiones 3 a 3 presenta el menor porcentaje de pérdida en consideración con los CODEC G.723 y G.729. Respecto al ancho de banda (Figura 13), como ha de esperarse, incrementa conforme aumenta el número de conexiones soportadas por el punto de acceso.

En las Figuras 14 y 15 se puede observar que el tipo de paquete DH1 genera niveles de retardo más altos respecto a los paquetes DH3 y DH5, esto debido a que los CODEC G.723 y G.729 tienen un tamaño de paquete de 84 y 80 bytes respectivamente.

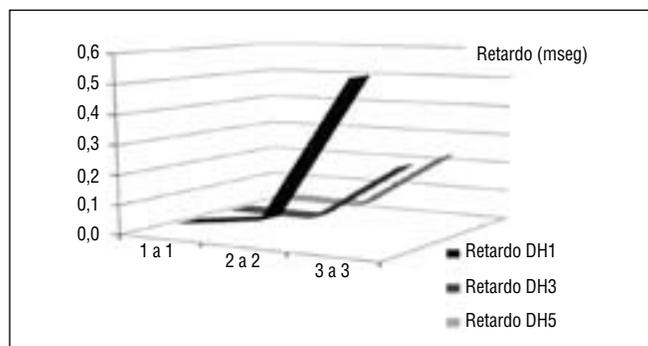


**Figura 14.** Retardo promedio para flujo de datos Full-Duplex CBR con CODEC G.723.

Luego es pasada dicha información al nivel L2CAP la cual requiere mayor fragmentación si trabaja con paquetes DH1, de lo contrario su comportamiento es similar o casi igual al trabajar con paquetes DH3 y DH5 que con su carga útil máxima encapsulan perfectamente la información generada por los CODEC ya mencionados.

Respecto a los porcentajes de entrega manejados con los CODEC G.723 y G.729, tipo de conexión Full-duplex y tráfico CBR, tienen una efectividad del 100%, además del incremento gradual en los niveles consumidos por el ancho de banda, conforme aumenta la cantidad de conexiones donde el

CODEC G.723 con tipo de paquete DH1 alcanza valores de 5.24, 10.28 y 25.8 Kbps; con tipo de paquete DH3 presenta un consumo de 5.10, 10.48 y 27.8 Kbps y con DH5 demanda un ancho de banda de 5.4, 10.8 y 29.8 Kbps, en conexiones 1 a 1, 2 a 2 y 3 a 3 respectivamente. La demanda de ancho de banda generada por el CODEC G.729 con tipo de paquete DH1 alcanza valores de 6.51, 13.56 y 32.25 Kbps; con tipo de paquete DH3 presenta un consumo de 6.52, 13.31 y 32.64 Kbps y con DH5 demanda un ancho de banda de 6.55, 13.33 y 32.65 Kbps, correspondiendo igualmente al tipo de conexiones 1 a 1, 2 a 2 y 3 a 3.



**Figura 15.** Retardo promedio para flujo de datos Full-Duplex CBR con CODEC G.729.

### C. Tercer escenario

Una vez evaluado el tráfico constante de datos (CBR) considerado en conexiones *full-duplex*, la mayor aproximación a una transmisión de voz es un sistema de detección VAD ya que una conversación normal tiene momentos de silencio en el que cesa dicho flujo, en este escenario el punto de acceso (maestro de la piconet) sigue siendo el encargado de enlazar dichas conexiones que representan un diálogo.

Se evaluaron los CODEC ya mencionados con los diferentes tipos de paquetes planteados en la especificación Bluetooth y escogidos previamente (DH1, DH3 y DH5). Los retardos medidos en simulación representan cada uno de los retardos promedios por salto, debido a que la comunicación se realiza entre dos nodos móviles a través de un punto de acceso representado por el nodo maestro, es decir, se deben sumar los retardos por cada salto para obtener el retardo extremo a extremo de los paquetes.

Los resultados obtenidos con base en este escenario muestran variaciones en las tendencias de los retardos pre-

sentados en el escenario uno. Es decir, mientras que en el escenario uno los retardos aumentaban proporcionalmente con el número de conexiones llevadas a cabo, en el escenario dos (Figuras 19 y 20) el retardo disminuía en las conexiones 2 a 2. Esto se debe a que el flujo de datos generado con la utilización de los CODEC G.723 y G.729 con sistema VAD se ajustan mejor cuando se generan 2 comunicaciones de voz simultáneas, mientras el CODEC G.711 genera un flujo de datos lo suficientemente grande para ajustarse a los tipos de paquetes DH3 y DH5 (Figura 16).

En cuanto al porcentaje de entrega de los paquetes, los flujos generados con los CODEC G.723 y G.729 revelan una pérdida de paquetes de cero por ciento, siendo su tamaño la razón por la cual no requieren fragmentación por conexiones ACL, que al ser comparados con el gran tamaño de paquetes generados con el CODEC G.711 se nota claramente cómo incrementa el porcentaje de pérdida de paquetes en este último (Figura 17); sumado a esto influye el número de conexiones de comunicación simultáneas.

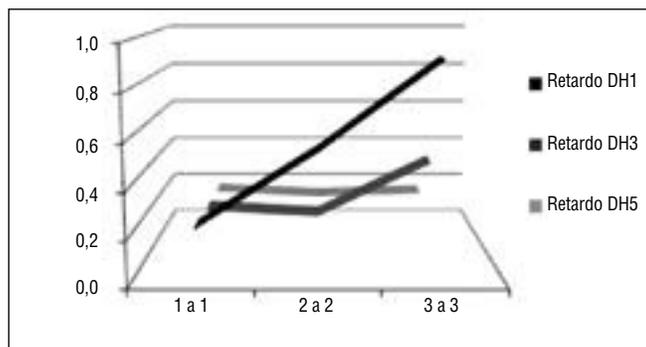
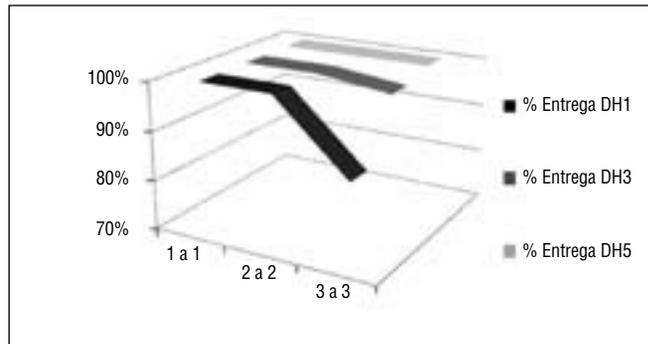
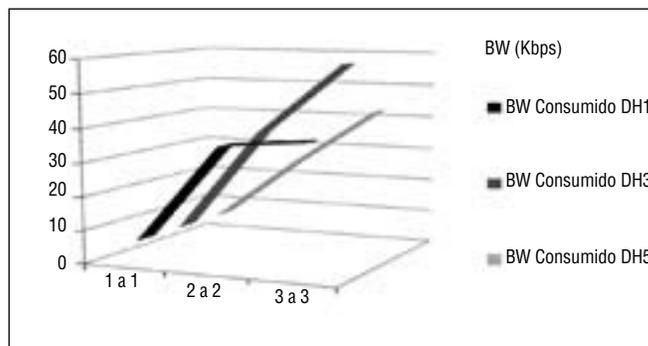


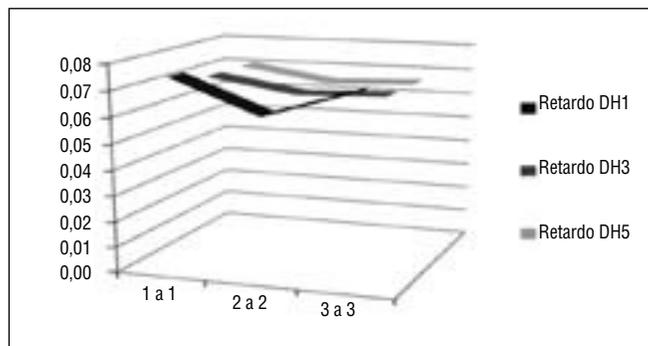
Figura 16. Retardo promedio para flujo de datos Full-duplex, VAD y CODEC G.711.



**Figura 17.** Porcentaje de entrega promedio para flujo de datos Fullduplex, VAD y CODEC G.711.



**Figura 18.** Ancho de banda consumido para flujo de datos Full-duplex, VAD y CODEC G.711.



**Figura 19.** Retardo promedio para flujo de datos Full-duplex, VAD y CODEC G.723.

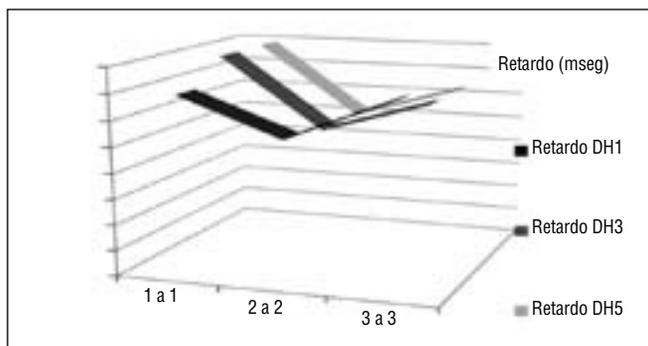


Figura 20. Retardo promedio para flujo de datos Full-duplex, VAD y CODEC G.729.

Como era de esperarse, el aumento de conexiones asociadas al punto de acceso revela un mayor consumo de ancho de banda, reflejado así para el CODEC G.711 en la Figura 18. El CODEC G.723 presenta una demanda de ancho de banda con tipo de paquete DH1 de 0.80, 2.68 y 5.64 Kbps; con tipo de paquete DH3 genera un consumo de 0.80, 2.95 y 5.65 Kbps y con DH5 una demanda de 0.90, 2.99 y 5.82 Kbps, en conexiones 1 a 1, 2 a 2 y 3 a 3, respectivamente. La demanda de ancho de banda generada por el CODEC G.729 con tipo de paquete DH1 alcanza valores de 1.02, 5.12 y

6.91 Kbps; con tipo de paquete DH3 presenta un consumo de 1.02, 4.09 y 8.06 Kbps y con DH5 demanda un ancho de banda de 1.1, 4.59 y 9.06 Kbps, correspondiendo igualmente al tipo de conexiones 1 a 1, 2 a 2 y 3 a 3.

#### D. Prototipo funcional

Con el objetivo de contrastar los datos obtenidos en los escenarios de simulación, se implementó un prototipo funcional a fin de realizar el mismo tipo de mediciones de desempeño y conectividad. Un nodo Bluetooth se implementó como el punto de acceso definido en la arquitectura.

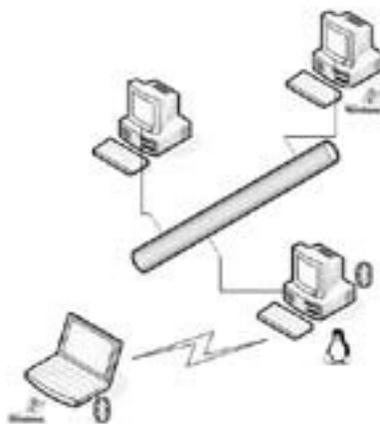


Figura 21. Diagrama de conexión del prototipo funcional.

El punto de acceso se encarga de reutilizar el puente para interconectar la tecnología Bluetooth y la red cableada IEEE 802.3, haciendo uso del perfil PAN e implementando la encapsulación de datos con BNEP; a la vez que implementa funcionalidades de enrutador de interfaz dual haciendo uso de NAT. El nodo cliente Bluetooth fue implementado en una *laptop* donde su interfaz de red fue un adaptador Bluetooth asociándose a la red PAN establecida por el punto de acceso ya mencionado, a fin de interactuar con equipos pertenecientes a la red IP cableada (Figura 21).

A fin de obtener dichas medidas, se utilizaron generadores de tráfico como son Iperf<sup>9</sup> y D-ITG<sup>10</sup> (*Distributed Internet Traffic Generator*). Con el generador de tráfico Iperf se midió el ancho de banda provisto por el enlace siendo el nodo Bluetooth esclavo, el cliente Iperf que generaba tráfico hacia un equipo perteneciente a la red IEEE 802.3, donde estaba el servidor Iperf; luego de varias tomas de ancho de banda con esta herramienta, se obtuvo como valor mínimo 136 Kbps y un máximo de 312 Kbps, llegando así a un promedio de 239,208 Kbps en

cuanto al ancho de banda provisto por el enlace extremo a extremo.

Además se consideró que la llamada sería en doble vía por lo que también era conveniente generar un tráfico ida y vuelta utilizando la herramienta D-ITG; por este motivo la generación de flujos de datos se realizó al estimar la cantidad de conexiones, que a su vez generó un archivo (log) y al pasarlo al ITGDec se decodifica y presenta un formato *“human-readable”*, encontrando datos como cantidad de flujos, retardo, *jitter*, pérdida de paquetes y ancho de banda consumido, lo que genera tipos de flujos CBR y VAD.

El ancho de banda consumido durante la evaluación del prototipo funcional con sistemas CBR (Figura 24) y VAD (Figura 26) presenta variaciones con respecto al mismo parámetro evaluado durante la simulación, reflejando una demanda de ancho de banda conforme incrementan la cantidad de conexiones. Una de las razones probables es el tipo de generación de tráfico artificial utilizado durante el proceso de simulación<sup>11</sup> y el tipo de generación de tráfico implementado por el generador de tráfico D-ITG.<sup>10</sup>

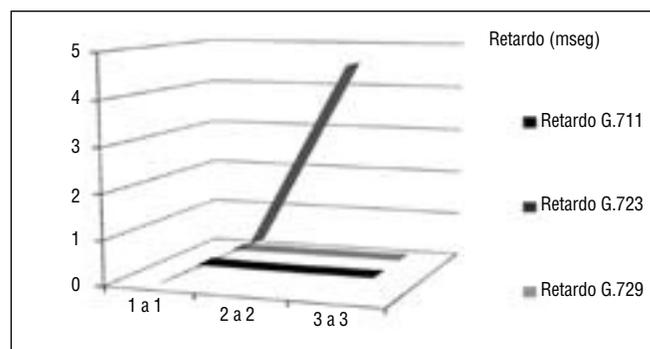
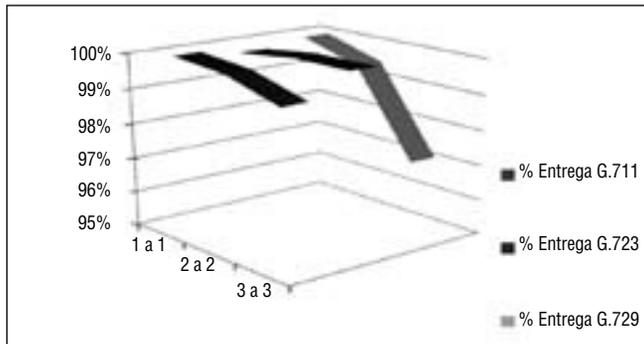


Figura 22. Retardo promedio del prototipo funcional Full-duplex y CBR



**Figura 23.** Porcentaje de entrega promedio del prototipo funcional Fullduplex y CBR.

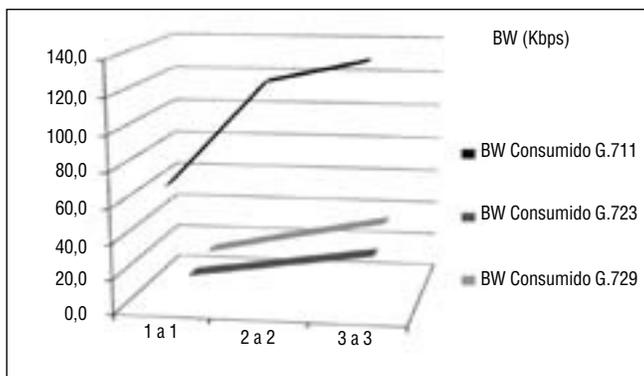
Otra de las razones constituye la diferencia en el número de dispositivos móviles involucrados en los dos escenarios, es decir, durante la evaluación del prototipo funcional se generaron los flujos desde un solo cliente móvil mientras que en la simulación se generaron los flujos desde diferentes clientes móviles.

Se observa que la pérdida de paquetes incrementa en el prototipo funcional conforme aumenta el número de conexiones que trabajan con flujos constantes de datos (Figura 23), a diferencia del tipo de flujo VAD, el cual no presenta pérdidas cuando se

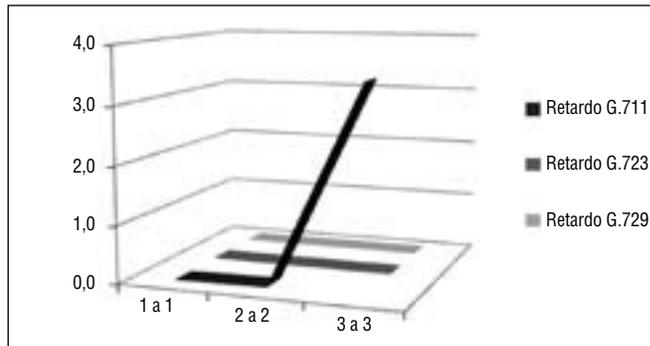
utilizan los CODEC G.723 y G.729, ocurriendo una particularidad con el CODEC G.711, el cual presenta pérdidas de paquetes debido al gran tamaño de éstos (Figura 27).

La variación de los retardos (Figuras 22 y 25) es mínima al trabajar con los CODEC G.723 y G.729, a diferencia del CODEC G.711 donde a partir de las conexiones 2 a 2 se eleva el retardo tanto en tráfico CBR como VAD, esto debido al tamaño de paquete transmitido por este último CODEC.

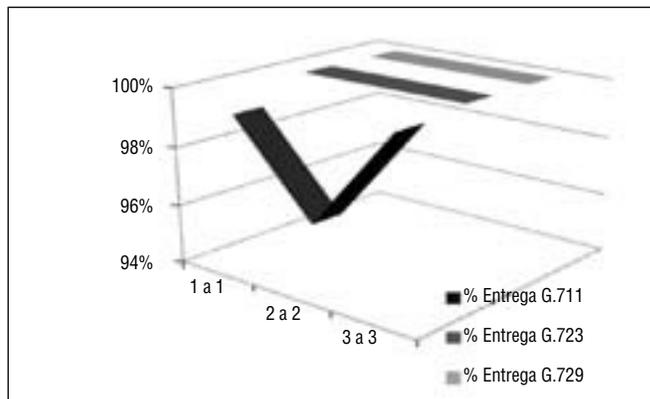
La detección de actividad de voz genera una reducción del ancho de banda consumido en un 35% teóricamente,



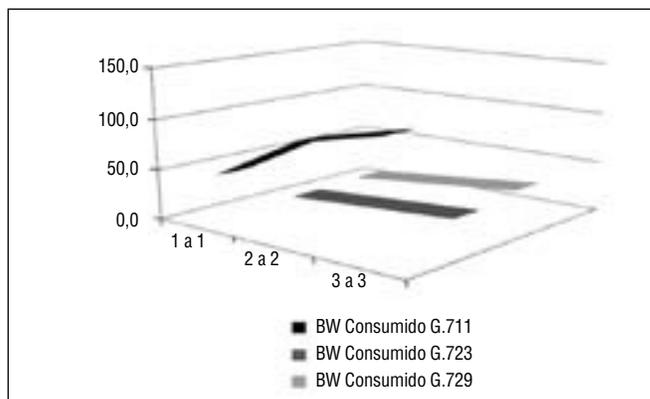
**Figura 24.** Ancho de banda consumido del prototipo funcional Full-duplex y CBR.



**Figura 25.** Retardo promedio del prototipo funcional Full-duplex y VAD



**Figura 26.** Porcentaje de entrega promedio del prototipo funcional Fullduplex y VAD.



**Figura 27.** Ancho de banda consumido del prototipo funcional Full-duplex y VAD.

en relación con esto el prototipo funcional al generar tráfico VAD se acerca a dicho porcentaje de reducción establecido para tráfico de VoIP en comparación con los datos obtenidos de la simulación, este porcentaje se puede apreciar en la Tabla 4, demostrando a su vez que la interoperabilidad de la tecnología Bluetooth con redes cableadas IP puede alcanzar los estándares establecidos para un préstamo eficiente de servicios de voz sobre IP.

En general, los resultados obtenidos a partir de la evaluación de la ar-

quitectura por medio del prototipo funcional, fueron acordes con los obtenidos a partir de la simulación. Las variables medidas presentan concordancia, según el número de comunicaciones llevadas a cabo y el tipo de CODEC utilizado. Una de las observaciones más relevantes corresponde al retardo presentado cuando se realizan tres comunicaciones simultáneas. Dicho ítem presenta una diferencia significativa en ambas medidas, lo que confirma la importancia de construcción de prototipos reales que contrasten los resultados de las simulaciones de redes.

**Tabla 4.** Porcentaje de reducción de ancho de banda en el prototipo funcional.

FULL DUPLEX – PROTOTIPO		
		% REDUCCIÓN BW
G.711	1 a 1	32,48%
	2 a 2	27,72%
	3 a 3	20,26%
G.723	1 a 1	28,84%
	2 a 2	28,89%
	3 a 3	28,95%
G.729	1 a 1	24,96%
	2 a 2	24,55%
	3 a 3	22,78%

## 8. CONCLUSIONES

Con base en los criterios, parámetros de interoperabilidad, y las capacidades tecnológicas IP brindadas por Bluetooth, se planteó una arquitectura como soporte para la prestación de servicios de voz en tiempo real.

Se definió el simulador de redes y el paquete de simulación para Bluetooth que más se adaptaran a las

necesidades del proyecto, con el fin de simular una serie de escenarios que pudieran conducir a la validación de la arquitectura propuesta.

Se implementó un prototipo funcional, que ayudó a contrastar los resultados obtenidos a partir de la validación de la arquitectura vía simulación, con el objetivo de robustecer los resultados de la validación.

En el proceso de validación se midieron variables críticas para la prestación de servicios de VoIP, tales como el retardo, porcentaje de entrega de paquetes y ancho de banda consumido, con base en el CODEC y tipo de paquetes utilizados en la comunicación, con el fin de determinar el grado de desempeño de un sistema implementado según la arquitectura propuesta.

El diseño flexible y modular de la arquitectura permite la futura extensión del set de posibles aplicaciones que requieran una plataforma IP para su funcionamiento, soportado fundamentalmente sobre la completa interoperabilidad de tecnologías.

#### BIBLIOGRAFÍA

1. Ministerio de Comunicaciones de Colombia. CuadroAtribucion. (Archivo PDF), Disponible en Internet: <http://www.mincomunicaciones.gov.co>.
2. Bluetooth Special Interest Group. "Bluetooth Core", Specification of the Bluetooth System, Versión 2.0 + EDR, 4 de Noviembre de 2004. Disponible en Internet: <https://www.bluetooth.org>.
3. Ribhegge S. "Sprachübertragung in Bluetooth basierten Ad-hoc Netzwerken". Documento PDF. 87 Páginas. [http://www.ribhegge.gmxhome.de/sprache\\_bt\\_ad-hoc.pdf](http://www.ribhegge.gmxhome.de/sprache_bt_ad-hoc.pdf)
4. IEEE. IEEE standard 802.3 2000 edition. Disponible en: <http://www.ieeeexplore.org>.
5. Bluetooth Special Interest Group. Bluetooth Profiles, Specification of the Bluetooth System, Versión 1.1, 22 de Febrero de 2003. Disponible en: <http://www.bluetooth.org>.
6. Bluetooth Special Interest Group. Bluetooth Network Encapsulation Protocol (BNEP) Specification. Specification of the Bluetooth System, Versión 1.0, 14 de Febrero de 2003. Disponible en Internet: <http://www.bluetooth.org>.
7. Bluetooth Special Interest Group. Personal Area Networking Profile. Specification of the Bluetooth System, Versión 1.0, 14 de Febrero de 2003. Disponible en Internet: <http://www.bluetooth.org>
8. QoS en telefonía IP. Página web disponible en: <http://www.um.es/atrica/qos-en-telefonía-ip>
9. Iperf. University of Illinois (USA). Disponible en: <http://dast.nlanr.net/Projects/Iperf/>
10. Distributed Internet Traffic Generator. Università degli Studi di Napoli "Federico II" (Italia). Disponible en: <http://www.grid.unina.it/software/ITG/>
11. Artificial Conversational Speech. ITU-T Recommendation P.59. Disponible en: <http://www.itu.int/ITU-T/>

#### CURRÍCULOS

**Javier Alexander Hurtado.** Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones por la Universidad del Cauca en el 2001. Especialista en Redes y Servicios Telemáticos por la Universidad del Cauca, en el 2004. Magíster en Ingeniería, área Telemática, por la Universidad del Cauca, en el 2005.

**Oscar Mauricio Caicedo.** Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones, por la Universidad del Cauca en el 2001. Especialista en Redes y Servicios Telemáticos, por la Universidad del Cauca, en el 2002. Magíster en Ingeniería, área Telemática, Universidad del Cauca, 2006. Coordinador del grupo de interés en desarrollo de aplicaciones móviles e inalámbricas W@PColombia y miembro del grupo de Ingeniería Telemática. Docente del departamento de Telemática de la Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad del Cauca.

**Francisco Orlando Martínez.** Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones, Universidad del Cauca, 2003. Candidato a Magíster en Ingeniería, área Telemática, Universidad del Cauca. Coordinador del grupo de interés en desarrollo de aplicaciones W@PColombia y miembro del grupo de Ingeniería Telemática. Docente

del departamento de Telemática de la Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad del Cauca.

**Daryan Francisco Reinoso Rojas.** Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad del Cauca, Colombia 2007. Sus áreas de interés se enfocan hacia la prestación de servicios telemáticos sobre redes inalámbricas, así como también la gestión e interoperabilidad de redes heterogéneas. Grupo de Ingeniería Telemática (GIT), Universidad del Cauca.

**Juan Paulo Guzmán Flórez.** Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad del Cauca, Colombia 2007. Sus áreas de interés se enfocan hacia la prestación de servicios telemáticos sobre redes inalámbricas, radio propagación, como también la gestión y estudio de protocolos en redes de nueva generación. Grupo de Ingeniería Telemática (GIT) de la Universidad del Cauca. ☼