

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE INGENIERÍA-ENSENADA



ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO  
DE LA TECNOLOGÍA INALÁMBRICA BLUETOOTH

Tesis que para obtener el grado de

**Maestro en Ingeniería**

Presenta

**Norma Candolfi Arballo**

Director de la Tesis: Dr. Juan Ivan Nieto Hipólito.

Ensenada B.C.

Diciembre 2008

## RESUMEN

Las redes inalámbricas son cada vez más comunes en nuestro entorno diario. Hoy en día vemos redes en el hogar, oficinas e industrias donde los usuarios exigen servicios de transferencia de datos, voz y video de una manera rápida y con el mínimo de errores. Una tecnología que se ya se encuentra en los ambientes citados, es Bluetooth (BT).

En esta tesis de maestría se presentan los resultados de mediciones hechas al funcionamiento de Bluetooth v2.0 +EDR en aplicaciones de transferencias de archivos de tamaño variable en un ambiente indoor, donde la presencia de obstáculos es casi inevitable. Esta evaluación es importante porque indican el retardo promedio, porcentaje de pérdida y de retransmisión de paquetes. Conocer estas métricas es fundamental para el desarrollo de aplicaciones multimedia, donde se debe garantizar una tasa de retransmisiones y retardos mínimos.

Los resultados muestran que el retardo promedio en la transferencia de archivos es lineal en función del tamaño del archivo sin considerar la distancia entre el par transmisor-receptor. También se observó que el desempeño de la versión 2.0 +EDR de Bluetooth no se degrada con la presencia de redes WiFi. La importancia de estudiar y analizar la tecnología Bluetooth es que se encuentra instalada en miles de millones de dispositivos.

# Agradecimientos

Esta tesis de maestría, si bien ha requerido de esfuerzo y mucha dedicación por mi parte (la autora) y director de tesis, no hubiera sido posible su finalización sin la cooperación desinteresada de todas y cada una de las personas que a continuación citaré:

A **Dios**, por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi apoyo y compañía durante todo el periodo de estudio.

A mis padres, Ysidro R. Candolfi y Norma L. Arballo, a quienes agradezco profundamente su amor, comprensión y apoyo incondicional. A quienes debo mis logros, que también son suyos. Por enseñarme que la perseverancia y el esfuerzo son el camino ideal para abrazar tus logros. Gracias eternamente por ese cálido hogar y esa maravillosa familia.

A mis hermanas, Ofelia, Mayra, Sofía, Gissel, por su compañía, por creer en mi y brindarme su apoyo. Se que cuento con ustedes toda una vida. Gracias Ofelia, por darme esos maravillosos sobrinos, que por ellos también me esfuerzo diariamente, y un abrazo sincero a mis cuñados.

A mi novio, Alfredo, por haber encontrado el amor a su lado y compartir con el mis logros y mi existencia. Gracias por su fiel apoyo en los problemas y triunfos. Tres Teros.

A mi abuelita Ofelia, porque a pesar de la distancia, el ánimo, apoyo y alegría que me brinda me da la fortaleza para seguir adelante, luchando con valores y amor a mis raíces. Gracias por vivir mis logros como parte de su vida.

Con Amor para Armando y Nayeli, por enseñarme que no hay límites, que lo que me proponga lo puedo lograr y que solo depende de mí. Y sobre todo por enseñarme a luchar, día a día, con el corazón, aunque sepas que sea el último momento que respire.

A mi tía Maribel, por ese tiempo que me arropó en su hogar, porque a pesar de estar estudiando lejos de mi casa, nunca me sentí sola, porque estuvo a mi lado, como una fiel amiga y confidente.

Para Dolores, Daleth, Edith, Mariana, Elo, porque en el momento de crear sueños, ellas están siempre ahí para alentarlos, para darme ánimos y para hacerlos crecer mucho más.

Para Dayna, por su cariño, apoyo incondicional y por crear una amistad tan sincera a lo largo de tantos años.

A Vicky y Thania, gracias porque desde el primer momento me brindaron y me brindan todo su apoyo, colaboración y cariño sin interés alguno. Por encontrar en su hogar, una segunda familia.

A mi tío Eduardo y July, por su apoyo y orientación en los procesos difíciles que aquí tuvieron lugar. Mil gracias.

Y a toda mi familia, que encontré en ellos(a) un desahogo de estrés, una sonrisa que terminaba en carcajada, y gran motor de seguir adelante. Gracias: Tía Paty, Tía Mimi, Gladys, Kitzzya, Vero, Obed, Brenda, Iriana, Yareli.

En general quisiera agradecer a todas y cada una de las personas que han vivido conmigo la realización de esta tesis de maestría, con sus altos y bajos. Desde lo más profundo de mi corazón les agradezco el haberme brindado todo el apoyo, colaboración, ánimo y sobre todo cariño y amistad.

# Agradecimientos Especiales

Un agradecimiento especial al **Dr. Juan Iván Nieto Hipólito** por la colaboración, paciencia, apoyo brindados desde siempre, por su generosidad al brindarme la oportunidad de recurrir a su capacidad y experiencia científica en un marco de confianza, afecto y amistad, fundamentales para la concreción de este trabajo.

Mi más sincero agradecimiento a mis sinodales **M.I. Víctor Rafael Nazario Velázquez Mejía** y **M.C. Christian Xavier Navarro Cota**, por su disposición y apoyo en la revisión de este trabajo de investigación.

Y de igual manera un agradecimiento al **M.C. José Antonio Michel Macarty** y **M.C. Elitania Jiménez García**, por su apoyo y consejos en la presentación trabajos de investigación.

Un agradecimiento al **DR. Oscar Roberto López Bonilla**, director de la Facultad de Ingeniería, por su apoyo incondicional para realizar los estudios de maestría en la Universidad Autónoma de Baja California, reconocida por la calidad de sus estudiantes y docentes.

A mis compañeros, **Ramón René, Rafael, Edith** con los que compartí las mismas experiencias y nos ponemos el hombro cada vez que se necesita, por su apoyo y ánimo en cada etapa a lo largo de estos años de estudio, Gracias.

NORMA CANDOLFI ARBALLO

# Índice general

<b>1. Introducción</b>	<b>6</b>
1.1. Antecedentes . . . . .	6
1.2. Introducción . . . . .	8
1.3. Planteamiento del Problema . . . . .	8
1.4. Preguntas de Investigación . . . . .	8
1.5. Objetivos Generales . . . . .	9
1.6. Objetivos Especificos . . . . .	9
1.7. Metas . . . . .	10
1.8. Limitaciones de Estudio . . . . .	10
1.9. Justificacion . . . . .	10
<b>2. Estado del Arte</b>	<b>13</b>
2.1. Redes de Computadoras . . . . .	13
2.2. Video Digital . . . . .	18
2.3. Compresión de Video . . . . .	20
2.4. Resumen . . . . .	25
<b>3. Tecnología Bluetooth</b>	<b>26</b>
3.1. Redes Inalámbricas de Área Personal (WPAN) . . . . .	26
3.2. ¿Qué es Bluetooth IEEE 802.15.1? . . . . .	26
3.3. Funcionamiento de Bluetooth . . . . .	29
3.3.1. Topología de Bluetooth . . . . .	31

3.3.2.	Radio . . . . .	33
3.3.3.	Banda base . . . . .	34
3.3.4.	LMP - Protocolo de Gestión de Enlace . . . . .	46
3.3.5.	HCI - Interfaz del controlador del anfitrión . . . . .	47
3.3.6.	L2CAP - Protocolo de adaptación y de control de enlace lógico	48
3.4.	Versiones de Bluetooth . . . . .	49
3.5.	Perfiles de Bluetooth . . . . .	52
3.6.	Aplicaciones de Bluetooth . . . . .	56
3.7.	Resumen . . . . .	58
<b>4.</b>	<b>Metodología de Evaluación y Resultados</b>	<b>60</b>
4.1.	Metodología de Evaluación . . . . .	60
4.2.	Diseño del Experimento I . . . . .	62
4.3.	Comparación de mediciones entre versiones Bluetooth . . . . .	69
4.4.	Coexistencia de Bluetooth y WiFi . . . . .	71
4.5.	Diseño del Experimento II . . . . .	72
4.6.	Resumen . . . . .	77
<b>5.</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>79</b>

# Índice de figuras

2.1. Red Inalambrica . . . . .	14
2.2. Red Alambrica . . . . .	14
2.3. Clasificacion de las redes de computadoras en función de su área de cobertura . . . . .	16
2.4. Sistema de Comunicación . . . . .	16
2.5. Comparación de versiones MPEG . . . . .	23
2.6. Transmisión de video por un canal inalámbrico Bluetooth . . . . .	25
3.1. Pila de protocolos Bluetooth . . . . .	29
3.2. Topologia Bluetooth . . . . .	32
3.3. FHSS, Saltos de Frecuencia en el Canal Bluetooth . . . . .	34
3.4. Estructura de paquetes Bluetooth . . . . .	36
3.5. Canal ranurado Bluetooth (Maestro/Esclavo) . . . . .	39
3.6. Canal Multi-ranurado de tiempo . . . . .	39
3.7. Funcionamiento del Controlador de Enlaces . . . . .	41
3.8. Proceso de Conexión . . . . .	44
3.9. Funcionamiento entre dispositivos Bluetooth . . . . .	49
3.10. Escenario de transmisión de video en tiempo real . . . . .	58
4.1. Distancia entre nodos en la medición . . . . .	62
4.2. Escenario de experimentación . . . . .	63
4.3. RTA promedio en función de la distancia, sin obstaculos. . . . .	66
4.4. RTA promedio en función de la distancia, con obstáculos. . . . .	67

4.5. Retardos promedios en función al tamaño del archivo. . . . .	68
4.6. Actividades del Servidor . . . . .	73
4.7. Actividades del Cliente . . . . .	74
4.8. Escenario II de experimentación . . . . .	75
4.9. Paquetes enviados en función del numero de nodos . . . . .	78

# Índice de tablas

2.1. Estándares en la presentación de video . . . . .	19
3.1. WPAN y las divisiones del estándar IEEE 802.15 . . . . .	27
3.2. Bt: Potencia de Transmisión . . . . .	35
3.3. Funciones de LMP . . . . .	46
3.4. Diferencias entre versiones de Bluetooth . . . . .	51
4.1. Retardo promedio en segundos entre BT transmisor - BT receptor, sin obstáculos. . . . .	64
4.2. Retardo promedio en segundos entre BT transmisor - BT receptor, con obstáculos . . . . .	65
4.3. RTA para diferentes tamaños de archivo sin tomar en cuenta la distancia.	69
4.4. Comparación de mediciones entre versiones de BT . . . . .	70
4.5. Paquetes transmitidos y recibidos. . . . .	76
4.6. Paquetes perdidos. . . . .	76
4.7. Paquetes Retrasados. . . . .	77

# Capítulo 1

## Introducción

### 1.1. Antecedentes

La tecnología de corto alcance, Bluetooth (Bt), ofrece interesantes y novedosos escenarios de implementación, tal es el caso de la transmisión multimedia, un área poco explorada, pero con grandes expectativas de desarrollo. La referencia [2] realiza un análisis muy completo del uso de Bt en la transferencia de video a través de una pico celda, también describe las ventajas que se ofrecerían en aplicaciones multimedia implementadas en Bluetooth.

En general, los requerimientos de software y hardware de una transmisión de video en tiempo real son elevados, tomando en cuenta que se transmite audio + video. Esta transmisión se complica más si se realiza sobre un canal inalámbrico, el cual es altamente afectado por interferencias electromagnéticas, lo que produce debilidad en la señal y a su vez retardo o bien pérdida de paquetes. Una transmisión de Bt puede ser interrumpida por la interferencia de otra señal inalámbrica ajena a la transmisión. Como puede ser un ambiente con IEEE 802.11 (WiFi), ya que ambas tecnologías transmiten en la misma banda de frecuencia [1].

Por otro lado, el ancho de banda asignado a Bt no permite transmitir video tal como se captura, para lograr esto, es necesaria una efectiva compresión de video, el estudio en [3] propone que MPEG-2 como algoritmo de compresión y una paquetización dinámica, permite la transmisión de video comprimido sobre el canal inalámbrico.

Otra opción que lleve a solucionar el problema de la limitación en ancho de banda que Bt presenta se expone en [4], proponiendo MPEG-4 como algoritmo de compresión de video. Esto ha despertado el interés en la investigación de Bt, lo que ha conlucido a que se realicen estudios sobre su desempeño y problemáticas [5]: velocidad de transmisión, topología de red, seguridad, calidad de servicio o consumo de energía, entre otros. Es tal el atractivo de Bt, que inclusive se considera en comparativa con tecnologías mucho más sofisticadas, como es el caso de IEEE 802.11 (WiFi)[6]. Siendo IEEE 802.11 una tecnología de área local, con radio de alcance mayor al de Bt, estudios realizados muestran que bajo ambientes similares, IEEE 802.11 presenta mayor porcentaje de pérdida de paquetes que Bt. Esto debido a los mecanismos de saltos de frecuencia que Bt incorpora, lo que evita colisiones. Sin embargo, la tecnología Bt presenta mayor retardo en la transmisión de paquetes que la tecnología 802.11, debido a que la velocidad de transmisión de IEEE 802.11 esta por encima (33X) de la de Bt [5].

Esta baja velocidad de transmisión en Bt, resalta la desventaja de Bt con tecnologías de área local. Sin embargo, El Grupo de Interés Especializado (SIG) de Bluetooth [7], anuncio el lanzamiento de la nueva versión de Bluetooth, denominada Enhanced Data Rate (EDR), la cual implementa nuevas técnicas de modulación de la señal, obteniendo así incrementos en la velocidad de transmisión al triple que su versión anterior. El estudio en [8] muestra que a partir del cambio de modulación de la señal, se acerca más aun la posibilidad de transmisiones multimedia sobre Bt.

Sin embargo, de acuerdo con la literatura revisada no existe una implementación real que muestre resultados de la transmisión de video sobre Bluetooth, los resultados de estudios se presentan a través de modelos simulados, o bien comparativas entre tecnologías utilizando versión anteriores de Bt, pero no hay pruebas de desempeño en base a la nueva versión de Bluetooth 2.0 +EDR.

## 1.2. Introducción

La transmisión de video en tiempo real sobre la tecnología Bt, abre un amplio panorama de aplicaciones. Por ejemplo, en Domótica se pueden extender desarrollando sistemas de monitoreo en el hogar o bien poder utilizar el teléfono celular como cámara, transmitiendo video a una computadora o televisión de alta resolución. Existen aplicaciones de transmisión de video en tiempo real, con tecnologías de mayor dificultad de implementación y mayor costo. Con el uso de la tecnología Bt la conexión entre nodos es automática, prácticamente transparente para el usuario, comparado esto a la tecnología IEEE 802.11, esta requiere de una instalación mucho más robusta y mucho mayor conocimiento de uso por parte del usuario. La mayor ventaja que obtenemos utilizando Bt, es el alto porcentaje en la reducción de costo de implementación y facilidad de uso.

## 1.3. Planteamiento del Problema

Actualmente es prácticamente imposible la transmisión de Video en Tiempo Real sobre un Canal Inalámbrico con calidad parecida a la televisión comercial. Es por ello que nuestra interrogante es: ¿Es posible la transmisión de video en tiempo real sobre la tecnología Bluetooth? Esta problemática es la que se pretende contestar a través de este trabajo de investigación. Analizando por un lado los requerimientos en la transmisión de video, y por el otro lado las prestaciones de la tecnología Bluetooth, y de esta manera determinar si es factible la transmisión de video en tiempo real sobre Bluetooth.

## 1.4. Preguntas de Investigación

1. ¿Qué Método de Comprensión en Video es el mas óptimo para utilizar en Bt?
2. ¿Qué esquema de paquetización ofrece los mejores resultados en una transmisión

- de vídeo sobre Bt?
3. ¿Cuál es el Grado de Comprensión ideal, que permita la Transmisión de Video sin degradar la señal y la calidad en la recepción?
  4. El incremento de velocidad en una Transmisión Bluetooth, como lo especifican sus nuevas versiones ¿Puede ser la solución a la problemática de Transmisión de Video sobre dicha Tecnología?
  5. ¿Cuál de los Perfiles de Bluetooth ofrece las propiedades necesarias para una Transmisión de Video Bluetooth?
  6. ¿La señal de Bluetooth se ve afectada por la presencia de señales inalámbricas de otras redes como puede ser 802.11 b/g (WiFi)?
  7. Cuantitativamente ¿Dónde se ubican las ventajas que presenta la nueva versión de Bluetooth 2.0+EDR, con respecto a versiones anteriores?

## 1.5. Objetivos Generales

Estudiar y analizar el panorama de la tecnología Bluetooth y por medio de la experimentación, determinar los parámetros y protocolos que se deben utilizar para la transferencia de video en tiempo real utilizando la tecnología Bluetooth.

## 1.6. Objetivos Especificos

- Analizar el procedimiento en la transmisión de datos sobre la tecnología Bluetooth.
- Estudiar la transmisión de video en redes inalámbricas para determinar la calidad en recepción de imagen.

- Implementar una metodología de evaluación y determinar métricas de desempeño con el fin de obtener resultados respecto a la transmisión en una red inalámbrica Bluetooth.
- Determinar las características y especificaciones que se deben seguir para la implementación de video con una elevada y mejorada calidad de transmisión y recepción.

## **1.7. Metas**

Determinar los parámetros que garanticen una de transmisión de video en tiempo real sobre la tecnología Bluetooth con alta calidad en la recepción.

## **1.8. Limitaciones de Estudio**

Este estudio se limita únicamente a la obtención de parametros a través de mediciones a través de una metodología de evaluación sobre la tecnología Bluetooth, en base a sus especificaciones técnicas y el desempeño que presente para determinar si es factible una transmisión de video en tiempo real con las prestaciones que esta tecnología presenta.

## **1.9. Justificacion**

Existen diversas maneras de conectar dispositivos electrónicos entre sí: mediante cables, señales de radio, rayos de luz infrarrojos, y una variedad incluso mayor de conectores, enchufes y protocolos. Esto provoca que lograr la conexión entre diversos dispositivos sea un arte muy complejo. Las tecnologías inalámbricas surgen como respuesta a esta complejidad. Las comunicaciones inalámbricas están presentes en muchas de nuestras actividades diarias y su uso ha llegado a ser tan común que perdemos la percepción de su participación. Una tecnología inalámbrica como lo es telefonía celular, surge para promover la movilidad y disponibilidad de comunicación

en un ritmo de vida tan acelerado como en los últimos y futuros años. Las WPAN (Wireless Personal Area Networks / Red de Área Personal Inalámbrica), constituyen un esquema de red de bajo costo que permite conectar entre sí dispositivos de comunicación móvil, como PC's, PDA, impresoras, mouse, micrófonos, auriculares, teléfonos móviles entre otros. Cuando se requiere comunicar dispositivos a corto alcance, de forma cómoda y sin necesidad de cables, la tecnología inalámbrica Bluetooth ofrece las características ideales. La tecnología Bluetooth (IEEE 802.15.1), es prácticamente instantánea al establecer una red inalámbrica, su reconocimiento de red es automático y tiene un número de características interesantes que pueden simplificar la vida diaria, agregándole a esto su bajo costo y facilidad de implementación en diversos dispositivos móviles.

Stephen Word, presidente de WiMedia, declara: *Hay una convergencia entre tres sectores principales: informática personal, electrónica de consumo y teléfonos móviles* [11]. Bluetooth cubre estos tres sectores. Sin embargo, no hay muchas investigaciones dirigidas al campo de transmisión de video sobre Bluetooth. Esto brinda una oportunidad de investigación en esta nueva área, la novedosa versión de Bluetooth despertará el interés hacia un enfoque de investigación y desarrollo de aplicaciones en diversos escenarios como se implementan en WLAN. Permitiendo un sinfín de tecnologías subsistiendo en un hogar, realizando tareas diarias en un entorno diferente de aplicación.

Bluetooth incorporará en los próximos años una nueva tecnología de radio, conocida como Ultra-Wideband o UWB, desarrollado por el grupo industrial WiMedia Alliance [11]. En estos momentos, Bluetooth es compatible solo con dispositivos de baja velocidad, como auriculares, teclados, mouse, teléfonos celulares. UWB, permitirá pensar en transferencia de multimedia a altas velocidades entre dispositivos en el hogar o en la oficina y a un menor costo [7]. Esto presenta una gran ventaja sobre tecnologías inalámbricas como IEEE 802.11 ó WIMAX, sobretodo porque éstas requieren una gran infraestructura para su implementación.

En las tecnologías de su tipo Bluetooth es líder en el mercado y es la única de corto alcance de la que se distribuyen más de cinco millones de unidades semana a semana [7], existen cerca de 2 billones de dispositivos usando el estándar inalámbrico Bluetooth [9], esto abre infinidad de posibilidades de desarrollo en esta área tomando en cuenta que los dispositivos celulares más vendidos incluyen esta tecnología, la cual ha sustituido la tecnología IrDA (infrarrojo). Además, tomando en cuenta el estudio realizado por *The Mobile World*, una empresa de análisis de comunicaciones del Reino Unido, la cual determinó que ha principios de la década, el 12% de la población mundial tenía un teléfono celular y a final de este año se espera que será aproximado al 61%, esta cifra declara que actualmente existe un teléfono celular por cada dos personas en el mundo, superando los 3.000 millones de dispositivos [10]. Para propósitos de esta trabajo de tesis, estos datos son relevantes para el estudio y análisis de la tecnología Bt.

# Capítulo 2

## Estado del Arte

### 2.1. Redes de Computadoras

Una Red de Computadoras es la interconexión de computadoras o dispositivos inteligentes de forma cableada o inalámbricamente, los cuales tienen como fin el compartir servicios de una máquina u otra. Establecer una red ofrece grandes beneficios, por ejemplo, en una empresa al interconectar computadoras y periféricos agilizan los procesos informáticos, además de tener pleno acceso a la información entre diversos departamentos inclusive fuera del propio espacio de trabajo. Otra ventaja y no menos importante sería el ahorro económico que representan a las organizaciones. Un servicio de red se inicia al momento de interconectar dos computadoras con el objetivo de que sus usuarios puedan compartir información. En la figura 2.1 y 2.2, se muestra la composición de una red de computadoras, conectada de manera inalámbrica y alámbrica respectivamente.

En función del área de cobertura, las redes de computadoras se clasifican de la siguiente manera:

- PAN (Red de Área Personal, del inglés Personal Area Network). Este término de Área Personal, es relativamente nuevo en el área de las telecomunicaciones, se propone a partir del concepto de Interconexión de dispositivos utilizados en nuestro espacio de trabajo, como puede ser, periféricos de la computadora, celulares, auriculares, agendas electrónicas, etc. Una ventaja de esta red es que el

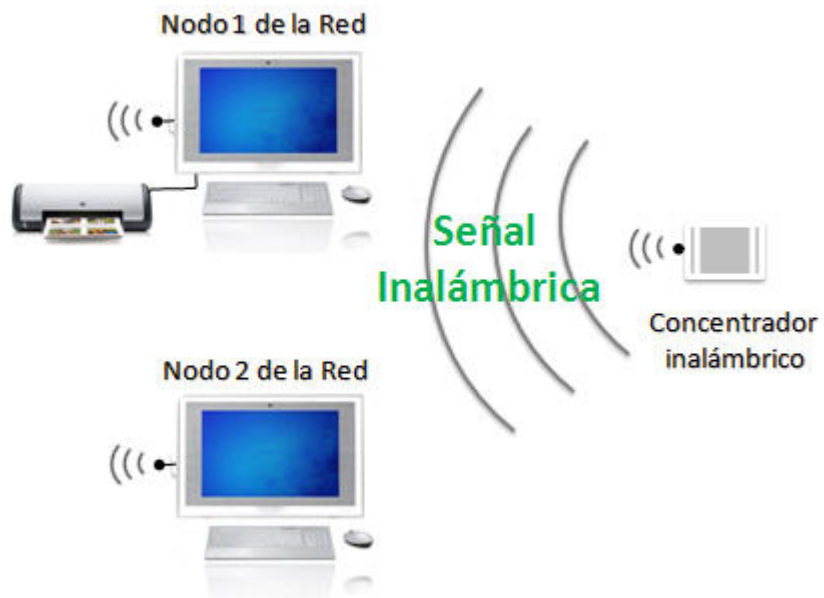


Figura 2.1: Red Inalambrica

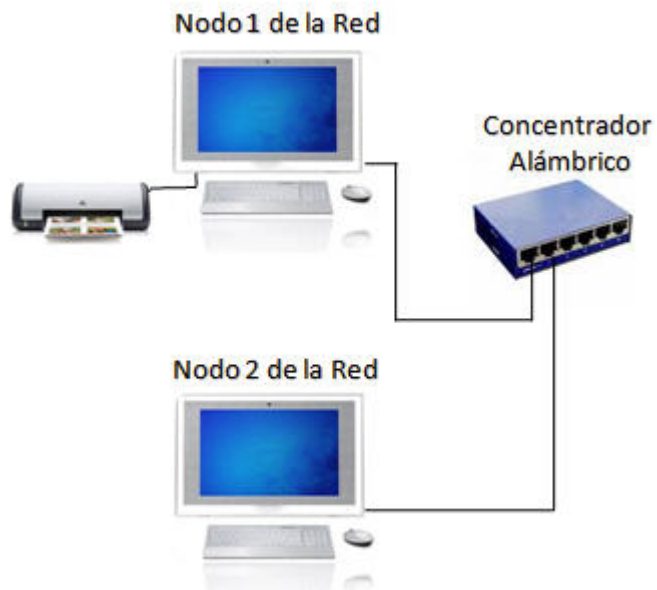


Figura 2.2: Red Alámbrica

establecimiento de red es prácticamente automático.

- LAN (Red de Área Local, del inglés Local Area Network), unos de los servicios de red más usados, ya que cumple con las expectativas de un área propia de una universidad, una empresa, hogar etc. Se limita a pocos kilómetros o bien a un edificio únicamente.
- MAN (Red de Área Metropolitana, del inglés Metropolitan Area Network), evolucionando el concepto de redes de área local se propone una red de área metropolitana, la cual tiene como ventaja la interconexión a un nivel geográfico extenso, inclusive llegando a cubrir toda una nación. La unión de varias redes MAN genera un universo de servicios a grandes velocidades.
- WAN (Red de Área Amplia, del inglés Wide Area Network), la novedosa red de Internet, entra en esta clasificación de Red de Área Amplia, en la cual se manejan interconexiones de nodos a grandes distancias.

Las redes PAN, LAN y MAN tienen su contraparte inalámbricas, por lo cual se identifican como WPAN (Wireless Personal Area Network, o en español como redes de área personal inalámbricas) y así sucesivamente. La figura 2.3 muestra esta clasificación y el estándar correspondiente.

En las redes descritas en el párrafo anterior, una comunicación de red se establece cuando un Emisor (fuente), transmite un mensaje por el canal de comunicaciones (medio), y es recibido por el receptor (destino). Por el canal de comunicación se puede enviar cualquier tipo de información, siempre y cuando el canal soporte el tipo de información que se envíen. El mensaje que se envía por el canal de comunicación, se divide en varias partes, cada división recibe el nombre de Paquete, por lo cual a estas redes también se les conoce con el nombre de Redes de Conmutación de Paquetes.

En la figura 2.4, se presenta el sistema típico de comunicación, en donde se muestra, la ruta que recorre el mensaje al establecer una conexión entre dos nodos. También



Figura 2.3: Clasificación de las redes de computadoras en función de su área de cobertura

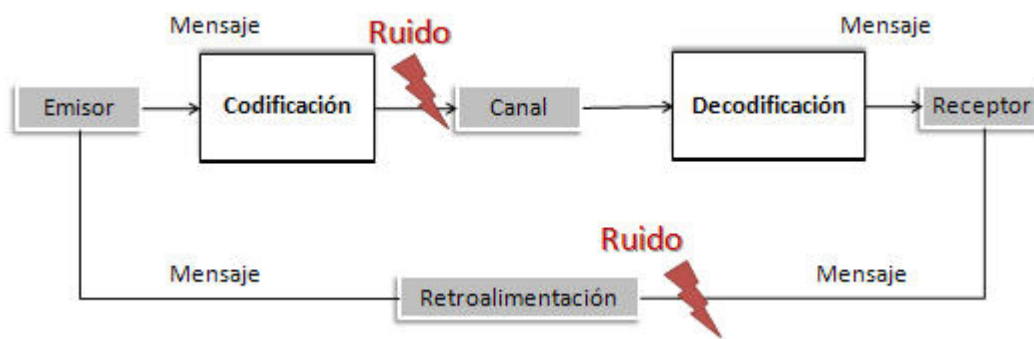


Figura 2.4: Sistema de Comunicación

la figura muestra como el ruido que se puede presentar impidiendo la recepción adecuada de los datos, y por consecuencia, se daña la calidad en la información recibida.

Existen una serie de variables que determinan la calidad de la comunicación, y por consecuencia la efectividad en la transmisión de los datos, a continuación se definen las más importantes:

- Retardo de Paquete.- Tiempo promedio que tarda un paquete en ser reconocido positivamente por el receptor. Debido a las fallas del medio de transmisión o colisiones un paquete podría ser enviado más de una vez.
- Perdida de Paquete.- Se refiere al promedio de paquetes que no llegan al receptor (destino), una vez que fue enviado por el canal de comunicación. Una pérdida de paquete se puede presentar por daños en el medio de comunicación o colisiones (explicada posteriormente).
- Colisión de Paquetes.- Se presenta cuando dos paquetes chocan en el medio de comunicación provocando la pérdida de información.
- Retransmisión de Paquete.- Cuando el receptor confirma una pérdida de paquete solicita una retransmisión del paquete perdido al emisor. Esta solicitud de retransmisión puede ocurrir más de una vez.
- Disponibilidad de la Red.- Se refiere al tiempo promedio en que la red esta habilitada para su uso, es decir, que ningún componente de la red falle y su estado sea óptimo para la transmisión por sus canales de comunicación.

Cuando se establece una comunicación entre dos nodos y estos transmiten datos, se establece una conexión por un tiempo determinado lo suficiente para que un archivo sea transmitido y posteriormente ser visto por el usuario destino. Esta conexión es relativamente segura tomando en cuenta que en caso de presentarse pérdida de paquetes se solicita una retransmisión siendo esto transparente para el usuario. Sin embargo, dependiendo del tipo de comunicación, se establecen

características esenciales para el servicio que la red ofrecerá. Existen dos tipos destacados de comunicación, presentados a continuación:

1. Canal Dedicado, se establece una conexión exclusiva entre dos o mas puntos a una única red por motivos de seguridad o el mantener una velocidad constante. Con el fin de cubrir necesidades con óptimo desempeño en las aplicaciones, por contar con los recursos del canal sin interrupciones.
2. Canal Compartido, se establece una comunicación compartida entre los nodos conectados en una red (generalmente más de dos). De esta manera, factores como velocidad de transmisión y ancho de banda disminuyen, y se vuelven inestables a partir del número de demandas del canal en la red. Esto ocasiona el aumento del retardo en la transferencia de datos por el medio o canal.

## **2.2. Video Digital**

Dentro de los servicios con mayor demanda en la actualidad se encuentra el denominado Servicio de Video. Entendemos Video Digital por una secuencia de imágenes y audio las cuales son almacenadas y reproducidas de forma digital.

Una imagen digital se compone de pixeles, siendo un pixel (px) la unidad mínima de una imagen digital. Dependiendo del numero de pixeles o la división de pixeles que tenga una imagen se determina la calidad de la misma, a esta calidad de imagen se le denomina Resolución de Imagen, es importante mencionar que cuanto más calidad o resolución implica un mayor costo en el tamaño de la imagen en bytes. El tamaño se determina por las dimensiones físicas de imagen las cuales son estandarizadas en pequeña (320 x 240 px), mediana (640 x 480 px), grande (720 x 480 px), alta definición (1280 x 720 px) [14]. Esto se resume a que las variables de dimensiones y resolución son completamente inde-

<b>MEDIO EN QUE SE PRESENTA EL VIDEO</b>	<b>FRAMES POR SEGUNDO(fps)</b>
Animación para Internet	12 fps
Dibujos Animados y Videos para Internet	15 fps
Cine	24 fps
Televisión Zona Europea PAL	25 fps
Televisión Zona Americana NTSC	23.976 ó 29.97 fps

Tabla 2.1: Estándares en la presentación de video

pendientes, es decir la calidad de una imagen se presenta en cualquiera de las dimensiones en que se puede obtener una imagen.

Una vez que se describió la unidad más pequeña de la imagen, y tomando en cuenta que el video se define como un conjunto de imágenes, se define a un Fotograma como la unidad más pequeña del video, es cada una de las imágenes que al mostrarse secuencialmente forman un Video. Por otra parte la velocidad de un fotograma (frame rate,) es medida en FPS (Frames por segundo) o CPS (Cuadros por Segundo)[15]. Teniendo que para lograr una sensación de movimiento se tienen que enviar al menos 22 fps. Fue de gran importancia que se definieran estándares que indicaran la cantidad de cuadros para crear la sensación de movimiento continuo, esta es variable dependiendo del medio en el que se va a mostrar el video. La 2.1 presenta los fps necesarios para lograr la noción de movimiento continuo para diferentes sistemas de comunicación.

Una vez definidos todos los requerimientos en una transmisión de video. Los cuestionamientos más sobresalientes serían: ¿Dónde empieza específicamente la problemática en la transmisión de video digital? ¿Tecnológicamente que parte no está resuelta?. Conocemos el procedimiento de transmisión de datos, sin embargo, aun teniendo una conexión establecida, no contamos en la actualidad con una tecnología inalámbrica que cubra con requerimientos tan altos en la transmisión, sobre todo cuando se trata de la entrega y presentación en tiempo re-

al de los datos, y mucho menos cuando se involucran diferentes tipos de datos, como son imagen y audio.

Para explicar el párrafo anterior, se cita el siguiente ejemplo: transmitir una señal VGA con 640 x 480 píxeles (resolución), de 25 fps, 8 bits para codificar cada uno de los colores de RGB (Red, Green, Blue), requiere un ancho de banda de  $640 \times 480 \times 25 \times 24 = 184.32$  Mbps [14]. Esta cantidad satura la velocidad establecida por ATM (Método de Transmisión Asíncrona) la cual se limita a 155.52 Mbps. Para lograr una buena calidad de video y una línea rápida de transferencia (mayor velocidad de transmisión) es primordial utilizar un eficiente método de compresión de video, dependiendo el estándar de comunicación que se utilice. La tecnología de Gigabit Ethernet soporta este ancho de banda, por lo que sería interesante, como trabajo futuro evaluar el desempeño de esta tecnología en comunicaciones multimedia.

## 2.3. Compresión de Video

El término de *Compresión de Video* se refiere a digitalizar y comprimir en ancho de banda una señal de video analógico. La señal resultante o video codificado es la que se transmitirá sobre el canal de telecomunicaciones. Del lado del receptor es necesario descomprimir o decodificar la señal recibida con el fin de poder ser visualizada. En la compresión se considera reducir: colores en la imagen, la resolución, la intensidad de la luz, eliminar partes pequeñas o invisibles de la imagen y las partes de una imagen que se repiten se envían sólo una vez.

La Técnica de Compresión de Video es de suma importancia ya que por medio de esta se reduce el uso de ancho de banda aunque pudiera existir degradación de la imagen dependiendo el grado de compresión.

La efectividad en la Compresión de Video está dada por la Relación de Compresión, definida como, la razón del tamaño del archivo de video sin comprimir

entre el tamaño del archivo comprimido [15]. Una mayor Relación de Compresión indica mayor eficiencia, consumiendo menor ancho de banda o bien el ancho de banda se mantiene constante y se aumenta el número de imágenes por segundo. Los sistemas de compresión de video se basan en que los cuadros del video tienen información redundante, se consideran únicamente las diferencias que tiene un cuadro con respecto del otro y así se elimina información. La mayoría de la información que se elimina no es perceptible para el ojo humano.

Existen varios sistemas de compresión de video, uno de los más utilizados es MPEG (Moving Picture Experts Group). Este estándar realiza la compresión de video a partir de dividirlo en tres capas. En la primera se realiza la compresión de audio, en la segunda la compresión de video y la tercera se refiere a las características del sistema, en donde se realiza la sincronización de datos y calidad de imagen [15]. Como ejemplo, un minuto de Video Digital de alta calidad requiere 20 Mbytes de tamaño y al utilizar MPEG se reduce a 5 Mbytes. Este video resultante (comprimido) presenta una buena calidad de color aunque un poco de deterioro de audio. MPEG. A continuación se presenta la evolución que ha seguido el estándar MPEG.

1. MPEG-1, está orientado a aplicaciones de almacenamiento de video digital en CD's, la mayoría de los codificadores y decodificadores MPEG-1 precisan un ancho de banda de aproximadamente 1.5 Mbit/seg a resolución CIF (352x288 pixeles). Mantiene el consumo de ancho de banda relativamente constante aunque varíe la calidad de la imagen, a razón de imágenes por segundo de 25 (PAL) y de 30 (NTSC)[13],[15].
2. MPEG-2, diseñado para video digital de alta calidad (DVD), TV Digital de Alta definición (HDTV), medios de almacenamiento interactivo (ISM), retransmisión de video digital (Digital Video Broadcasting, DVB) y Televisión por cable (CATV). MPEG-2, amplió la Técnica de Compresión

MPEG-1, para cubrir imágenes más grandes y de mayor calidad (mayor comprensión y menos ancho de banda). genera imágenes de excelente calidad consumiendo el mismo ancho de banda, la razón de imágenes por segundo es igual al de MPEG-1 [13] [15].

3. MPEG-4, la razón de imágenes por segundo no está bloqueado a 25 (PAL) o a 30 (NTSC). La mayoría de herramientas en MPEG-4 que son usadas en Tiempo Real son las mismas herramientas disponibles en MPEG-1 y MPEG-2. La diferencia es que MPEG-4 define subconjuntos para diferentes formatos de imágenes, dirigidos a diferentes consumos de ancho de banda en la transmisión llamados MPEG Profile (perfiles). Su objetivo es limitar el conjunto de herramientas a aplicaciones específicas, de esta manera se evita la complejidad de la compresión y descompresión. El enfoque de MPEG-4 es similar al de MPEG-2, pero con una combinación de perfiles. MPEG-4, incorpora perfiles específicos para cada aplicación multimedia, como es audio, visual y gráficos [12] [15]. Los beneficios que se han obtenido con MPEG-4 son los siguientes:

- Representar las unidades de sonido, visual o audiovisual como "objetos de medio de comunicación". Estos objetos pueden ser de origen natural o sintético, lo que significa que podrían ser grabados con cámara o micrófono o bien generados por computadora.
- Describir la composición de los objetos simples de sonido y visual, para crear objetos compuestos, esto es, llegar a crear escenas audiovisuales.
- Multiplexar y sincronizar los datos asociados con el objeto, a fin de que puedan ser transportados por el canal de comunicación con una calidad de servicio adecuado.
- Interactuar con el escenario audiovisual final, que se genera en el receptor.

Para cada Perfil (Profile) se tiene diferentes niveles, el nivel especifica parámetros como razón de bits máximo a usar en la transmisión y resoluciones soportadas. En un sistema, es posible implementar las herramientas MPEG-4 seleccionando un perfil y un nivel que sea adecuado a la aplicación [12].

En la figura 2.5 se realiza una comparación entre las diferentes versiones de MPEG.

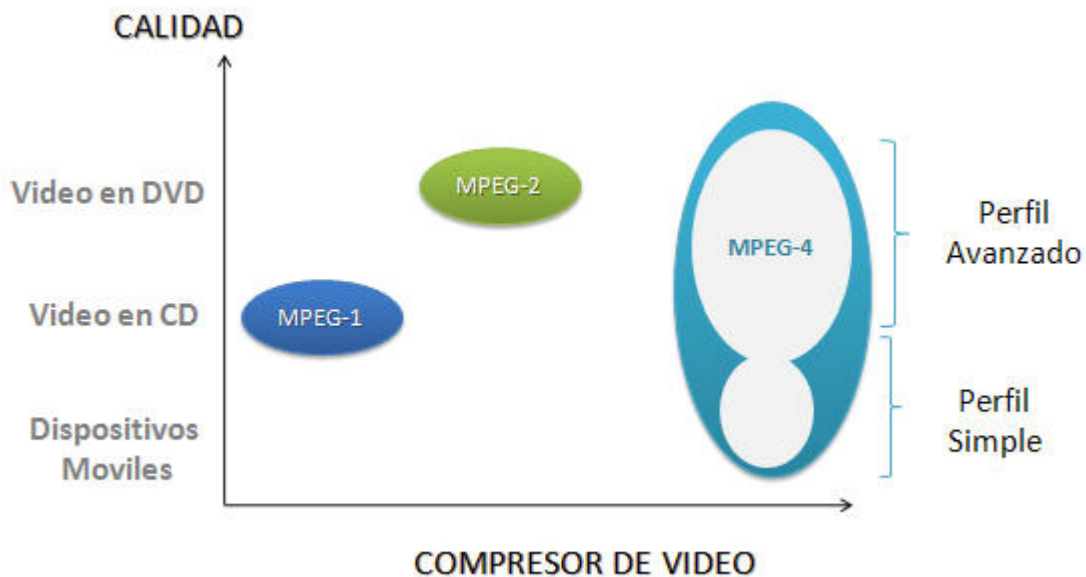


Figura 2.5: Comparación de versiones MPEG

En la figura anterior 2.5 se muestra como MPEG-4 tiene un amplio ambiente de aplicación, mientras que MPEG-1 fue desarrollado para video digital en CD-ROM y MPEG-2 para DVD, para televisión de alta definición. Por otro lado, MPEG-4 a partir de la combinación de perfiles y niveles esta dirigido a múltiples aplicaciones, que van desde telefonía celular hasta televisión de alta definición y sistemas que requieren alta calidad de servicio [15].

En general, cualquier versión MPEG, permite seleccionar entre dos modos de transmisión en la etapa de codificación, que a continuación se describen:

1. CBR (Constant Bit Rate), la característica principal en este modo de transmisión es que es que mantiene constante la tasa de bits (velocidad de transferencia de la información), es decir que los bits asignados de salida, son constantes en todo el proceso de transmisión de un archivo. Este modo de transmisión, es muy útil para la transmisión multimedia con canales de capacidad limitada. Establece una cuantificación uniforme de bits en la transmisión [14].
2. VBR (Variable Bit Rate), en este modo de transmisión, el envío de bits por el canal, es variable. Esto permite el ahorro de bit rate en escenas lentas o donde existe poca luz o pocas imágenes y en escenas que requieren mayor calidad o rapidez incrementa el bit rate, obteniendo una excelente percepción de video. Establece una cuantificación no uniforme [13] y [14].

En conclusión, MPEG proporciona la capacidad para dar una calidad de imagen relativamente alta, con un consumo de ancho de banda reducido (una razón de bits de transmisión bajo). Esto es importante cuando está limitado el ancho de banda disponible en la red ó si el video debe ser almacenado (grabado) con un alto número de imágenes por segundo. Bluetooth por su parte, presenta características de limitación en ancho de banda, por lo que para realizar comunicaciones multimedia es necesario un utilizar un estándar de compresión como lo es MPEG.

Con lo hasta aquí descrito surgen las preguntas:

1. ¿Es posible cubrir los requisitos que impone un canal inalámbrico para lograr una transmisión de video, únicamente con una la aplicación de un estándar de compresión?.
2. ¿Qué tan posible seria la lograr una transmisión de video sobre un canal inalámbrica Bluetooth, como el que se muestra en la figura 2.6?.

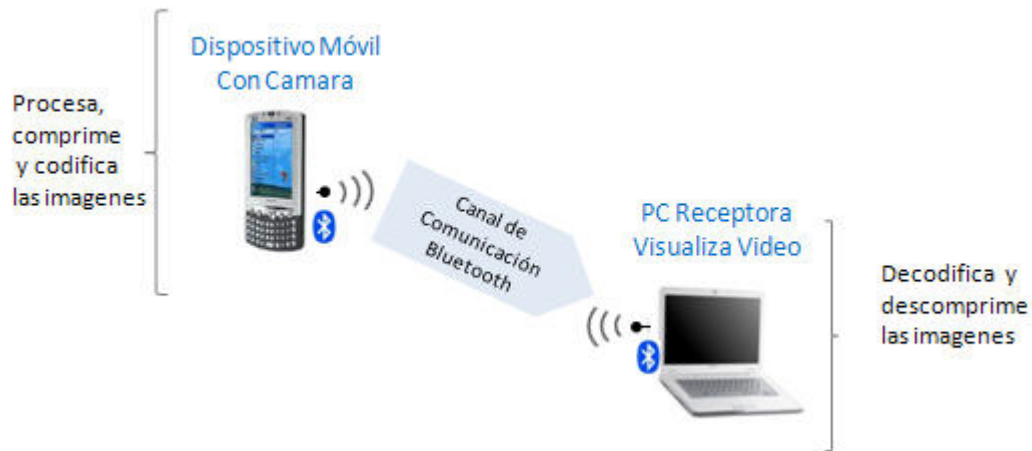


Figura 2.6: Transmisión de video por un canal inalámbrico Bluetooth

## 2.4. Resumen

En este capítulo se explican términos informáticos importantes, como la ventajas que obtenemos al trabajar sobre redes de computadoras o dispositivos en el caso de WPAN (Red de Área Personal, del inglés Personal Area Network), este tipo de redes son la base de la experimentación en este trabajo. Otro punto importante abordado fueron las exigencias para la presentación de video digital, pero con alta calidad en la presentación. Y cuales son las técnicas utilizadas para poder transmitir video sobre un canal inalámbrico.

# Capítulo 3

## Tecnología Bluetooth

### 3.1. Redes Inalámbricas de Área Personal (WPAN)

Las WPAN están definidas bajo el estándar IEEE 802.15 y para su mejor entendimiento, el estándar está dividido en cuatro partes tal como se muestra en la figura 3.1. Las WPAN se despliegan específicamente para un rango de uso personal y con el único fin de agilizar las actividades en este entorno.

Como se mencionó anteriormente el objetivo principal en las WPAN, es la conectividad a corto alcance y definir soluciones inmediatas, que permitan aplicaciones con QoS (Calidad de Servicio) en un radio de cobertura corto. Obteniendo ventajas de bajo costo de dispositivos, bajo costo en implementación (no requiere de mucha infraestructura para su uso), buena calidad de servicios y menor consumo de batería en los dispositivos. Pero a su vez contraponiéndose a menores velocidades de transmisión.

### 3.2. ¿Qué es Bluetooth IEEE 802.15.1?

La tecnología inalámbrica Bluetooth (IEEE 802.15.1) es un sistema de comunicaciones de corto alcance, cuyo objetivo es eliminar los cables en las conexiones entre dispositivos electrónicos, tanto portátiles como fijos (teléfonos celulares,

<b>Estandar IEEE</b>	<b>Grupo</b>	<b>Caudal Eficaz</b>	<b>Aplicaciones</b>	<b>QoS</b>
<b>802.15.1</b>	Bluetooth	1 a 3 Mbps	Celulares, Computadoras, PDAs, auriculares, impresoras, micrófonos, lectores de códigos de barra, sensores, pantallas.	Aplicaciones de voz.
<b>802.15.2</b>	Cohexistencia de Bluetooth y 802.11b	N/A	N/A	N/A
<b>802.15.3</b>	WPAN - Tasa alta de transferencia	Mayor a 20 Mbps	Baja potencia, bajo costo, servicios portátiles, imagen digital y aplicaciones multimedia.	Alta QoS
<b>802.15.4</b>	WPAN - Tasa baja de transferencia	Menor a 0.25 Mbps	Industrial, agricultura, vehicular, residencia, aplicaciones medicas, sensores y actuadores con muy bajo consumo de potencia y bajo costo.	Mediana velocidad de transmisión y QoS

Tabla 3.1: WPAN y las divisiones del estándar IEEE 802.15

PDA, computadoras, etc.), manteniendo cierto nivel de seguridad. Esta tecnología permite a los usuarios conexiones instantáneas. Otro objetivo de Bt es crear conexiones bajo la primicia de fiabilidad, bajo consumo y mínimo costo [9].

Un poco de historia, en 1994 la empresa Sueca Ericsson inició un estudio para investigar la viabilidad de una interfase vía radio, de bajo costo y bajo consumo, para la interconexión entre teléfonos móviles y otros accesorios con la intención de eliminar cables entre ellos. El estudio partía de un largo proyecto que investigaba sobre unos multi-comunicadores conectados a una red celular, hasta que se llegó a un enlace de radio de corto alcance, llamado MC link. Conforme éste proyecto avanzaba, se fue viendo claro que éste tipo de enlace podía ser utilizado ampliamente en un gran número de aplicaciones, ya que tenía como principal virtud de que se basaba en un chip de radio relativamente económico.

A comienzos de 1997, según avanzaba el proyecto MC link, Ericsson fue despertando el interés de otros fabricantes de equipos portátiles. En seguida se vio claramente que para que el sistema tuviera éxito, un gran número de equipos deberían estar equipados con ésta tecnología. Esto fue lo que originó a principios de 1998, la creación de un grupo de interés especial (SIG, Special Interest Group), formado por 5 promotores que fueron: Ericsson, Nokia, IBM, Toshiba e Intel [7]. El propósito principal del consorcio fue y es, el establecer un estándar de comunicación con su software de control, con el fin de asegurar la interoperabilidad de los equipos entre los diversos fabricantes. En la actualidad el SIG cuenta con miembros tales como Motorola, 3Com, Lucent y Microsoft, el respaldo de 1900 empresas de tecnología y 2000 empleados de otras tantas empresas que investigan productos y servicios con aplicaciones Bluetooth. Dentro de las tareas que el SIG realiza, está el involucrarse en las oportunidades que ofrece el mercado, estar al día con las investigaciones y las últimas tecnologías, de esta manera Bluetooth continúa en proceso de desarrollo[9].

La palabra Bluetooth se origina de Harald Bluetooth, un vikingo y Rey de Dinamarca, el cual fue reconocido por su capacidad de ayudar a la gente a comunicarse. Y sobre todo conocido por unificar los pueblos de Dinamarca, Noruega y Suiza que se encontraban en guerra. Es por eso que Bluetooth fue creado con la intención de unificar diferentes tecnologías como computadoras o teléfonos móviles [9].

### 3.3. Funcionamiento de Bluetooth

La pila de protocolos de Bluetooth basada en el Modelo OSI (Modelo de Referencia de Interconexión de Sistemas Abierto) se muestra en la figura 3.1.

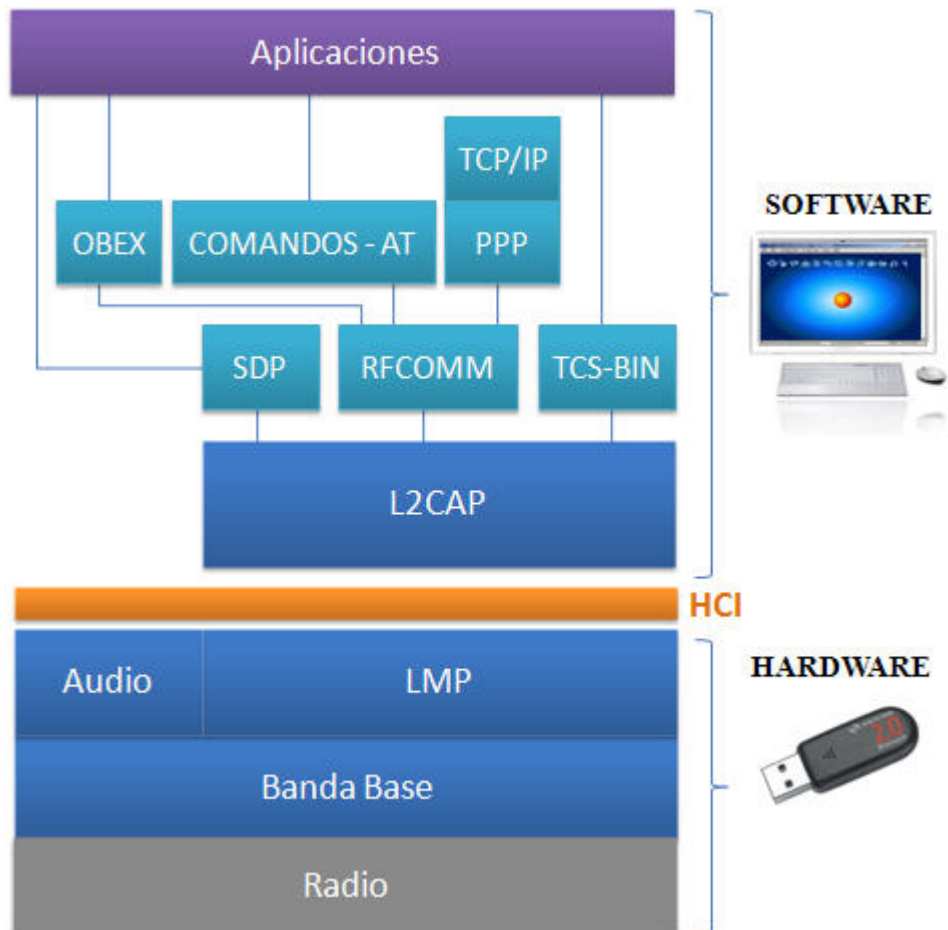


Figura 3.1: Pila de protocolos Bluetooth

La primera capa dentro de la pila es *Radio*, aquí se ejecutan tareas de modulación/demodulación de las señales de RF. Esta capa permite establecer un enlace de radiofrecuencia entre dispositivos Bluetooth, Profundizaremos más de este tema en la sección 3.3.2. Posteriormente la capa *Banda Base*, determinada el tipo de enlace físico que se utilizara, a partir de la aplicación, sea de datos o bien audio y datos. En la sección 3.3.3 se desarrollan los tipos de enlaces físicos. Una vez definido el enlace físico que se utilizara, la capa banda base establece comunicación con la tercera capa LMP. *LMP* o protocolo de gestión de enlace, Cuando dos dispositivos BT se encuentran e intentan comunicarse, es necesario que sus capas de LMP se detecten e intercambien códigos de seguridad, a lo que se le conoce como autenticación, una vez permitida la conexión, LMP controlara los enlaces entre los dispositivos BT, en la sección 3.3.4, se expone más a fondo esta capa. La siguiente capa, recibe el nombre de *HCI* y es de suma importancia, ya que funciona de ensamble entre las capas de hardware y las de software, se profundizará más de esta capa en la sección 3.3.5. Una vez cubiertas las capas por parte del hardware y cubriendo la interfaz de HCI, la primera capa de software es *L2CAP*, que tiene como función multiplexar el canal, esto es dividirlo para que varios nodos transmitan por el mismo canal y una vez dividido el canal, fraccionar los paquetes para ser enviados, permitiendo únicamente un enlace. Esta capa se define únicamente para el tráfico de datos, ya que el tráfico de audio + datos la omite. En la en la sección 3.3.6 se desarrolla la capa L2CAP. A partir de la capa L2CAP, tenemos una serie de protocolos, con tareas específicas asignadas las cuales se en listan a continuación:

- Protocolo SDP.- Definido para el descubrimiento de Servicios, basados en los perfiles de BT. Realiza la búsqueda y numeración de los servicios en un dispositivo.
- Protocolo RFCOMM.- Emula las señales de control y de datos de un puer-

to serie RS-232, permitiendo altas capacidades de transporte, y ventajas al eliminar el cable. Dependiendo la implementación del dispositivo puede llegar a emular hasta 60 puertos serie simultáneamente.

- Protocolo TCS-BIN.- Envía señales de control a un dispositivo que requiere usar los servicios de audio de Bluetooth. Define la manera de realizar llamadas desde un teléfono a una estación base.
- Protocolo OBEX.- Permite el intercambio de objetos entre dispositivos BT de forma simple.
- Protocolo de Comandos AT.- Configura un dispositivo permitiendo el envío de instrucciones de ejecución.
- Protocolos PPP.- Se implementa para que los dispositivos BT, ofrezcan un servicio de conexión con redes LAN, esto permite, interoperabilidad con aplicaciones que utilizan los protocolos TCP o UDP.

La última capa dentro de la pila de protocolos 3.1, es la capa de *aplicación*. La capa de aplicación de la tecnología Bluetooth, tiene una manera de operar en base a perfiles, es decir, a partir de la aplicación que se desee desarrollar corresponde un perfil, con funciones específicas, que permiten el orden y desarrollo dirigido de los servicios. En la sección 3.5 se profundiza sobre los diversos perfiles que BT maneja, y el desarrollo de aplicaciones que estos soportan.

### **3.3.1. Topología de Bluetooth**

Los dispositivos Bluetooth son sincronizados por un reloj y una secuencia de saltos de frecuencia dictados por un dispositivo BT denominado maestro. Los demás reciben el nombre de esclavos. Este tipo de conexión entre dispositivos es lo que se conoce como una *piconet*, la cual es la topología básica de la tecnología inalámbrica Bluetooth. La unión de dos o más pi-

conets, es decir, que cuando un dispositivo Bluetooth sea un nodo de más de una piconet, recibe el nombre de *scatternet*. En la figura 3.2 se muestra una piconet y una scatternet. Si un dispositivo maestro, se agrega a otra piconet, este, realizara la tarea de dispositivo esclavo, ya que un nodo Bluetooth únicamente puede ser dispositivo maestro de una única piconet.

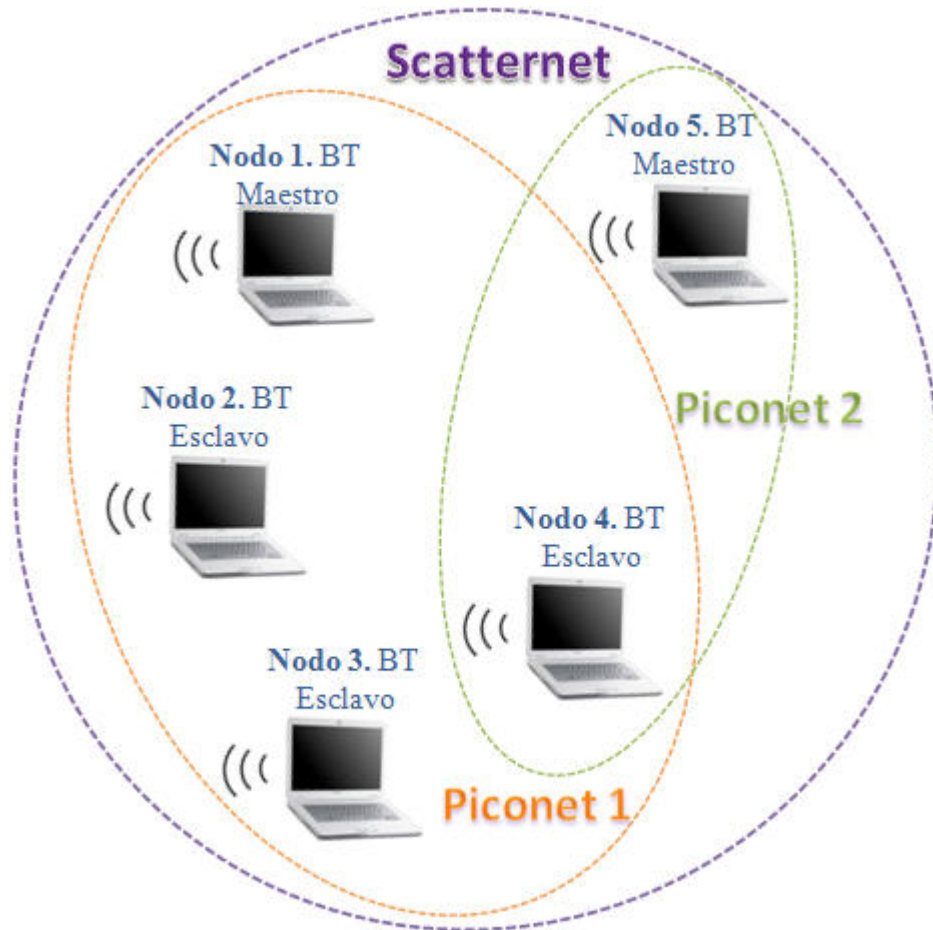


Figura 3.2: Topología Bluetooth

La conexión entre dos o más dispositivos de Bluetooth se efectúa con el fin de compartir servicios o información. Los nodos Bluetooth manejan una comunicación ad-hoc. Una red ad-hoc, es un conjunto de dispositivos móviles autónomos que se comunican entre si mediante canales inalámbricos, en donde no existe una infraestructura de red fija y la administración de red es de forma descentralizada. De esta manera los nodos tienen la re-

sponsabilidad en la toma de decisiones, mantenimiento de la red y funciones de encaminamiento [18]. La red Ad-hoc que Bluetooth ofrece, tiene ventajas considerables debido a la habilidad para localizar dispositivos y servicios de forma transparente e inmediata [19]. Bluetooth trabaja opera en un radio de cobertura de 10 metros y hasta 100 metros con repetidores.

### **3.3.2. Radio**

Bluetooth opera en la banda ISM (Banda de Frecuencia Industrial, Científica y Médica) en el rango 2.4 y 2.485 GHz, la cual no requiere licencia y se encuentra disponible en casi todos los países. Utiliza una modulación de canal de espectro esparcido con saltos de frecuencia (FHSS - Frequency Hopping Spread Spectrum) a una velocidad de 1600 saltos/segundo. Los saltos se realizan en intervalos de 1 MHz en 79 o 23 divisiones de frecuencias. En la figura 3.3, se muestra gráficamente la técnica FHSS utilizada en Bluetooth. FHSS se implementa con el fin de evitar interferencia, ya que la banda de los 2.4 GHz se comparte con otras tecnologías inalámbricas (WiFi y Teléfonos Inalámbricos). FHSS detecta los dispositivos que se encuentran conectados y descarta las frecuencias que utilizan al transmitir, permitiendo un mejor rendimiento del dispositivo y transmisiones eficaces dentro del espectro. En la referencia [5], se presenta un análisis comparativo sobre Bluetooth y la tecnología de red inalámbrica IEEE 802.11b WiFi, las cuales convergen en una misma frecuencia, y como ventaja Bluetooth ofrece mayor calidad en la transmisión, debido al bajo porcentaje de colisiones y pérdida de paquetes, demostrando así, la eficiencia en el uso de FHSS para evitar el choque de paquetes. Esto responde a la pregunta 6, establecida en la sección 1.4.

La modulación de la señal BT se da a partir de dos clasificaciones, un modo de transferencia básica, la cual utiliza la modulación FSK (Frequency

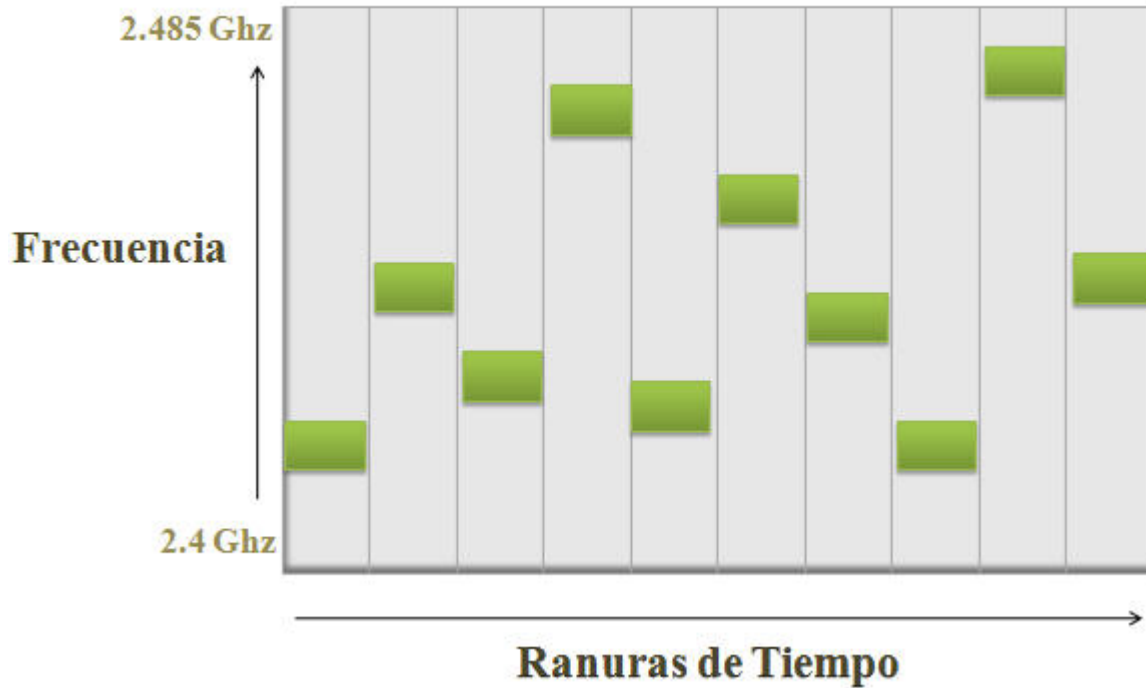


Figura 3.3: FHSS, Saltos de Frecuencia en el Canal Bluetooth

Shift Keying, modulación por desplazamiento de frecuencia), reduciendo al mínimo la complejidad del transmisor/receptor. Y un modo de transferencia mejorada la cual es opcional, que utiliza la modulación PSK (Phase Shift Keying) y se divide en dos variantes: Pi/4-DQPSK y 8DPSK [8]. Con una potencia de transmisión de 1mW a 100mW. En la tabla 3.2 se muestran la clasificación Bt respecto a la potencia de transmisión. La sensibilidad de recepción es de -70dBm para  $10^{-3}$  BER.

### 3.3.3. Banda base

Dentro de la banda base se especifican los procedimientos de acceso de medio y capa física. El dispositivo que inicia la conexión, es por definición el maestro, el cual analiza el canal, establece comunicación y se forma la piconet. Una vez establecida la conexión, los roles de maestro y esclavo se

Clase	Potencia Máxima	Potencia Media	Potencia Mínima
<i>1</i>	100 mW (20 dBm)	N/A	1 mW (0 dBm)
<i>2</i>	2.5 mW (4 dBm)	1 mW (0 dBm)	0.25 mW (-6 dBm)
<i>3</i>	1 mW (0 dBm)	N/A	N/A

Tabla 3.2: Bt: Potencia de Transmisión

pueden cambiar.

### Paquetes Bluetooth

Los datos se transmiten en paquetes. Para mantener compatibilidad entre las versiones 1.2 y 2.0 +EDR, los paquetes BT v2.0 +EDR utilizan dos campos adicionales, tal como se muestran en la figura 3.4: un periodo de guarda y secuencia de sincronización. Debido a que BT 2.0 +EDR puede utilizar una de dos tipos de modulaciones para transmitir la carga útil, los campos de periodo de guarda y secuencia de sincronización se utilizan para indicar si los datos se transmitirán utilizando la modulación  $\pi/4$ -DQPSK o DPSK. Los campos de código de acceso y encabezado se transmiten utilizando la modulación GFSK, al igual que los paquetes de BT v1.2, donde todo el paquete se transmite utilizando únicamente la modulación GFSK, tal como se ejemplifica en la figura 3.4.

La tasa de transferencia básica en todas las secuencias de modulación es de 1 Ms/s y la velocidad de transmisión en modo de transferencia básica es de 1 Mbps. La tasa de transferencia mejorada cuenta con dos modalidades; alcanzando una velocidad de transmisión de hasta 3 Mbps. En la figura 3.4

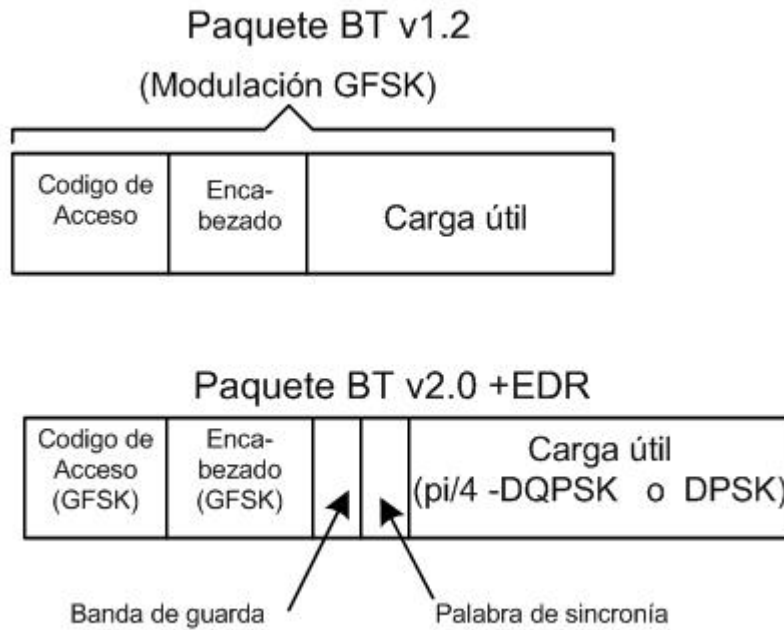


Figura 3.4: Estructura de paquetes Bluetooth

se muestra el ejemplo de un paquete utilizado en el modo de transferencia mejorada y básica. El paquete del modo de transferencia básica consta de tres divisiones: el código de acceso, la cabecera, y la carga útil. Mientras que el paquete de transferencia de datos mejorada general consta de tres divisiones: código de acceso, la cabecera, el periodo de guarda, la secuencia de sincronización, la carga útil de la transferencia de datos mejorada, y la cola. El periodo de guarda permite la transición entre las secuencias de modulación [9]. Ambos paquetes incluyen el código de acceso ya que permite la sincronización del canal físico al que van dirigidos, excluyendo los paquetes de canales diferentes que estén en uso, de la misma portadora de RF en un radio cercano. Antes de que la carga útil sea enviada por el canal inalámbrico, se agrega la cabecera de bits codificados al paquete, esto permite mayor fiabilidad y seguridad. Los paquetes de transferencia mejorada, incluyen un CRC de 16 bits, el cual permite la identificación de

errores en la transmisión.

## Canales y Enlaces Físicos

- Canal Físico.- La secuencia de saltos pseudaleatorios en los canales RF, la sincronización de los paquetes y un código de acceso, definen los *Canales Físicos*. La secuencia de saltos se determina mediante el reloj de Bluetooth. Los canales físicos se subdividen en ranuras de tiempo y la longitud de las ranuras dependen del canal físico.
- Enlace Físico.- Es la conexión de banda base entre dispositivos BT, siendo asociado únicamente a un canal físico. Las características de los enlaces físicos son: control de energía, supervisión de enlaces, cifrado, cambio de velocidad de transmisión (dependiendo la calidad requerida del canal), control de paquetes en múltiples ranuras. Estos parámetros se aplican dependiente el tipo de enlace que se establezca. Existen dos tipos de enlaces que a continuación se define:
  1. Enlace síncrono orientado a conexión (SCO).- Este tipo de enlace en basa en la conmutación de circuitos, es decir crea un enlace dedicado a una transmisión entre dos nodos, que se elimina hasta el momento que se termina la transmisión de todos los datos, esta comunicación es adecuada en la transmisión de video y audio en tiempo real, debido a que el ancho de banda de todo el canal es reservado para los nodos de la transmisión SCO, ya que los nodos manejan exclusivamente los recursos mientras dure la conexión. Sin embargo este tipo de enlace es mayormente susceptible a fallos. Ambos nodos en la transmisión se encuentran sincronizados por reloj. Los paquetes SCO no tienen CRC y un tamaño y su carga útil es de 30 bytes.
  2. Enlace asíncrono no orientado a conexión (ACL).- Se basa en

la conmutación de paquetes, en donde el maestro de la piconet puede establecer conexiones simultaneas dentro del canal de comunicación. Aquí es necesario dividir la información en paquetes de tamaño fijo y enviarlos por el canal en partes dependiendo en turno que se tenga para transmitir. Las ventajas es que si falla la transmisión de un paquete, únicamente se reenvía el paquete perdido. Sin embargo, sí se genera un retardo en un paquete y se reenvía puede dar origen a la duplicidad de paquetes. La conexión en este tipo de enlace puede ser síncrona o asíncrona.

Cuando transmiten el maestro y esclavo alternamente las especificaciones de Bluetooth determinan la segmentación del canal utilizando TDD (Time Division Duplex), logrando dividir el canal en ranuras de 625 El maestro únicamente podrá iniciar su transmisión de paquetes en ranuras numeradas en par y el esclavo en ranuras impar, lo anterior se ejemplifica en la figura 3.5. Esto permite el manejo de comunicaciones full duplex, decir el envío y recepción de datos al mismo tiempo. Cuando se cuenta con las de dos nodos en la piconet, una vez dividido el canal por el protocolo TDD, es necesario dividir cada ranura utilizando multiplexación TDMA (Time Division Multiple Access), esto nos permite definir en cada ranura el orden de transmisión que llevaran los nodos en cada tiempo. En la figura 3.6 se explica gráficamente. Un paquete puede utilizar 1,3 o 5 ranuras de tiempo, también llamados slots de tiempo, en la figura 3.6 se muestra la ranura del canal en base al tiempo de transmisión.

Las ranuras de tiempo seran divididas en función del reloj de maestro. Se enumera de 0 a  $2^27-1$  Para que los dispositivos de BT puedan enviar por el canal la información es necesario que el maestro realice un *poleo*, estableciendo comunicación con los dispositivos esclavos, obteniendo a partir de

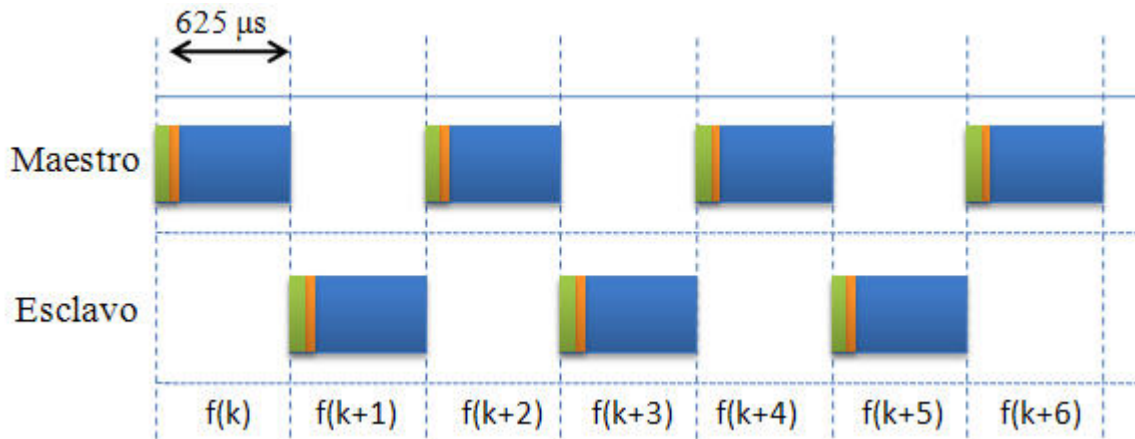


Figura 3.5: Canal ranurado Bluetooth (Maestro/Esclavo)

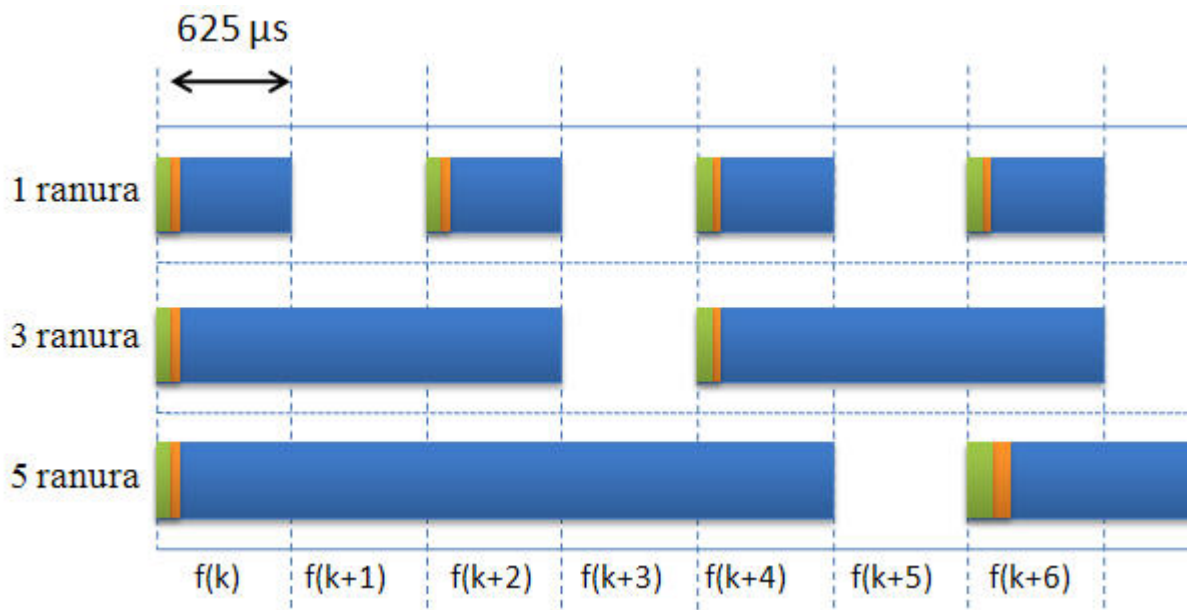


Figura 3.6: Canal Multi-ranurado de tiempo

la respuesta la secuencia en la que los nodos transmitirán, también llamada *secuencia de polling*[20].

En la figura 3.6, se representa el margen verde, como el indicador del tiempo en el que se hace la petición de canal por todos los nodos conectados, que desean transmitir (poleo), en el recuadro anaranjado se define el orden de transmisión (este orden es definido por el maestro), y por último en el recuadro azul, se lleva a cabo la transmisión. Esta transmisión no puede ser interrumpida por ningún protocolo.

Las características de un canal BT definen el soporte de los siguientes enlaces: Transferencia de datos asíncronos en un canal; Tres canales de voz simultáneamente; Datos asíncronos y voz síncrona a la par. El canal de voz se caracteriza por soportar 64 Kbps (datos síncronos) en cada dirección. Por otro lado el canal asíncrono soporta un máximo de 721 Kbps de bajada y 57.6 Kbps de subida o bien 433.9 Kbps simétricos [23].

### **Controlador de Enlaces**

El controlador de estado representa la actividad en la que se encuentra cada dispositivo Bt ya sea maestro o esclavo y que ruta o bien las opciones que tiene de migrar a otra actividad o estado. En la figura 3.7 se definen los estados que maneja el controlador de enlaces de Bluetooth. Los cuales se describen a continuación:

- Espera(standby).- En este estado el dispositivo se encuentra en espera de establecer una conexión y es definido por 7 subestados. Los subestados, funcionan como conectores entre los estados principales, su objetivo es el de permitir que se efectúe el descubrimiento de dispositivos y a su vez generar conexiones. Para poder transitar entre estados o subestados, se utilizan comandos de gestor de enlace o bien

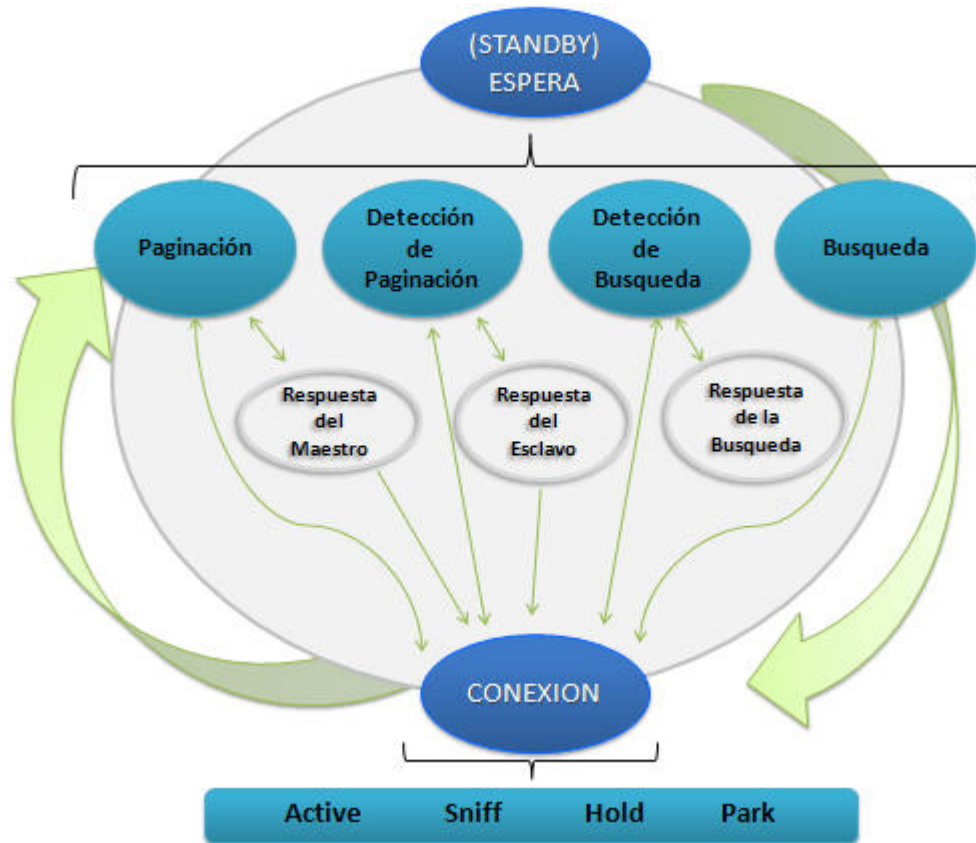


Figura 3.7: Funcionamiento del Controlador de Enlaces

señales que se emiten dentro del controlador de enlaces.

1. Paginación.- En este estado el maestro se conecta a un dispositivo esclavo en específico. Enviando un mensaje con el código de acceso del esclavo(DAC) en diferentes canales de salto.
  2. Detección de paginación.- El esclavo en un sola frecuencia de salto escucha su código de acceso (DAC).
  3. Respuesta del esclavo.- El esclavo responde al mensaje del maestro e inicia su estado de Conexión, a partir que recibe el FHS. FHS determina los saltos de frecuencia en el que se conectarán.
  4. Respuesta del maestro.- El maestro entra en este estado en el momento en que el esclavo responde a la petición de paginación. Al maestro le corresponde enviar un mensaje FHS, donde se determina la secuencia de saltos de frecuencia en la que trabajarán. Una vez que el esclavo responda entra en estado de Conexión.
  5. Búsqueda.- Cuando un dispositivo se encuentra en estado de Búsqueda, lanza una petición y los dispositivos localizados en el área de cobertura, responden enviando su dirección, reloj y manejo de perfil al dispositivo de búsqueda.
  6. Detección de búsqueda.- En este estado los dispositivos escuchan, las peticiones de búsqueda de otros dispositivos BT.
  7. Respuesta de la Búsqueda.- A una petición de búsqueda solo responden los esclavos de esa piconet, enviando un paquete FHS con el código de acceso y el reloj.
- o Conexión(connection).- Dispositivo activo en una piconet, puede ser maestro o esclavo. Cuenta con 4 subestados, definidos a continuación:
    1. Subestado *Active* : Los dispositivos en este subestado se encuentran sincronizados maestro-esclavo, para el intercambio de infor-

mación.

2. Subestado *Sniff*: Un esclavo en este subestado escucha únicamente en las ranuras de tiempo asignadas para transmisión de sus datos. Permite mantener un ahorro de energía.
3. Subestado *Hold*: Mantiene un modo de bajo consumo, no acepta paquetes ACL habilitando el canal a otros dispositivos.
4. Subestado *Park*: En este estado el dispositivo únicamente requiere pertenecer a la piconet pero sin tener participación en las conexiones o transmisiones que se llevan a cabo.

*Procedimiento de Búsqueda.*- Los dispositivos Bluetooth utilizan procedimientos de Búsqueda. Un dispositivo en estado de Búsqueda, localiza dispositivos que se encuentren pendientes a ser detectados y enviara solicitudes de conexión. Posteriormente, los dispositivos que sean detectados, responderán a las solicitudes del dispositivo de Búsqueda [9]. En este proceso se emplea un canal físico especial, para que se realice la solicitud y respuesta entre los dispositivos de envío de solicitud y respuesta, se define como un enlace o canal transitorio. Es necesario establecer un tiempo en estado de búsqueda, el cual dependerá de la demanda de QoS en las comunicaciones lógicas ya existentes dentro de la piconet. Cada uno de los estados y subestados definen características específicas según a las actividades que el dispositivo desea realizar. Esto proporciona opciones para un mejor desempeño del dispositivo, por ejemplo, evitando la pérdida de energía innecesaria, manteniendo una potencia adecuada para transmisiones con exigencias de recurso, como es el caso de transmisiones multimedia.

*Procedimiento de Paginación .*-Una conexión entre dos nodos se establece de la siguiente manera: es un procedimiento dirigido de un dispositivo Bluetooth que hace la paginación a un dispositivo en específico en es-

para de ser solicitado para una conexión. Se utiliza un canal físico específico para la recepción de paquetes con solicitud de conexión que envía el dispositivo de paginación. De la misma manera que en el estado de búsqueda, en el estado de paginación es necesario establecer un tiempo el cual será definido en base a la demanda de QoS en las comunicaciones ya existente ???. En la figura 3.8 se describen los estados para llegar a la conexión de dos dispositivos y soporte el intercambio de información [9].

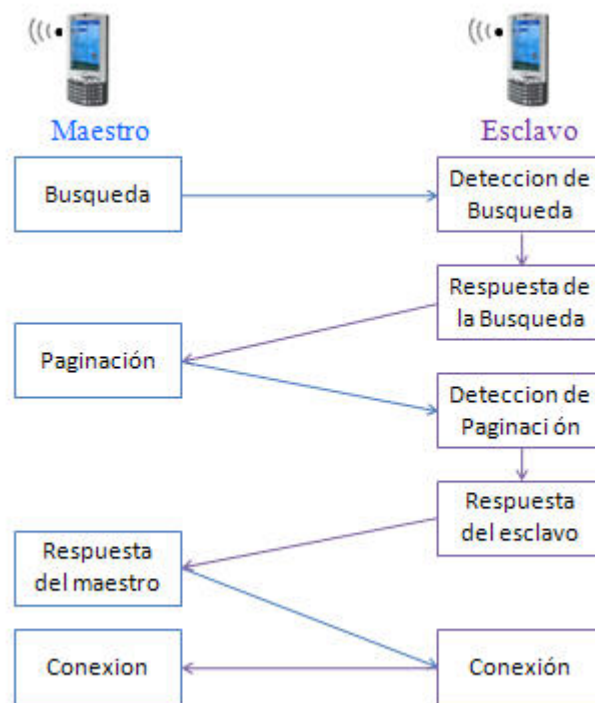


Figura 3.8: Proceso de Conexión

### Corrección de errores

El estándar Bluetooth, establece tres esquemas para el control y corrección de errores, los cuales se presentan a continuación:

1. FEC(Forward Error Correction)1/3
2. FEC(Forward Error Correction)2/3

### 3. Esquema ARQ

Los esquemas 1 y 2 corresponden a esquemas FEC, en donde la base del control de errores está en la codificación de los bits que se requieren enviar, pero agregándole unos bits mas llamados bits de redundancia. Una vez codificados los bits obtenemos una palabra en código que se envía por el canal y el receptor con el decodificador adecuado, traduce esa palabra y elimina los bits de redundancia, obteniendo así la secuencia de datos correcta. En el caso de FEC 1/3, la redundancia se da, cuando se repite cada bit, tres veces. Para FEC 2/3 se aplica una codificación y redundancia en la que cada 10 bits se convierten en 15.

En ambos esquemas FEC, se limita la transmisión al envío de la información una única vez, es decir se detecta el error pero no efectúan retransmisiones. El esquema FEC ofrece ventajas en las transmisiones en tiempo real, por ejemplo, en una llamada telefónica o en una transmisión de video; debido a que en este tipo de transmisiones no es necesario la solicitud de retransmisión de paquetes, ya que los datos perdidos o retrasados ya no podrán formar parte de la información presentada. En la figura ?? se presentan un esquema de transmisión entre dos dispositivos, aplicando el algoritmo de control y corrección de errores FEC.

El esquema 3 presenta un panorama muy distinto a los algoritmos FEC. Un esquema ARQ se basa en la espera de confirmación de llegada de paquete, para poder seguir enviando información por el canal o bien retransmitir el paquete que no llego a su destino. Las confirmaciones están dadas por:

- ACK .- Llegada de paquete positiva, y se envía el siguiente paquete.
- NACK.- Llegada de paquete Negativa y se retransmite el paquete que no llego a su destino.

	<b>Control de Piconet</b>	<b>Control de Enlace</b>	<b>Seguridad</b>
<b>1</b>	Agregar o descartar esclavos	Servicios que soporta el enlace	Autenticación
<b>2</b>	Intercambio Maestro - Esclavo	Calidad de servicio	Encriptado
<b>3</b>	Establecer enlaces ACL/SCO, Control en modo de baja potencia	Tipos de paquetes aceptados	Información de enlaces

Tabla 3.3: Funciones de LMP

ARQ presenta deficiencias en el momento de retransmisión, debido a que cuando un paquete se retrasa pero no se pierde en el canal, y se agota el tiempo de espera del ACK, el emisor re-envía el paquete provocando que en el receptor exista una duplicidad de paquetes.

La importancia en la implementación del control de flujo en los enlaces, recae en su mayoría en comunicaciones dedicadas, ya que al existir un error en la transmisión, se pierden todos los datos enviados desde el inicio de la transferencia.

### **3.3.4. LMP - Protocolo de Gestión de Enlace**

El Protocolo de gestión de enlace (Link Manager Protocol), tiene como objetivo principal la administración y control de los enlaces o conexiones entre dispositivos Bluetooth. En la tabla 3.3, se muestran las funciones que la capa LMP realiza.

En la capa LMP se determinan las operaciones que se deben llevar a cabo para establecer conexiones y transmisiones con seguridad. Para aceptar la transmisión en un enlace es necesario que se cubran los requisitos de au-

tenticación y encriptación, los cuales están dados a partir de pregunta-respuesta y una secuencia cifrada de datos, respectivamente.

Por otro lado, se genera una clave de sesión, entre los dispositivos la cual puede ser cambiada durante la conexión. Es necesario también utilizar variables como dirección del dispositivo BT, esta se hace publica en toda la red, clave de usuario, siendo esta una clave privada y por ultimo un numero aleatorio diferente en cada transmisión. Las peticiones se llevan acabo sobre un control de colas FIFO, el cual determina que la primera petición que se hace es la que se atiende.

### **3.3.5. HCI - Interfaz del controlador del anfitrión**

Esta capa permite crear una interfaz entre el dispositivo BT y un host (computadora definida como anfitrión), es un enlace entre las capas inferiores de hardware y las capas superiores de software, es el enlace directo entre la capa LMP y la capa L2CAP. La capa HCI es definida como el firmware de la pila Bluetooth, entendiendo por firmware como una capa de instrucciones con el propósito específico de establecer la lógica de comunicación entre la electrónica del dispositivo BT y ordenes externas que recibe el dispositivo BT. La capa HCI se encuentra instalada en el hardware, controlando la electrónica para que ejecute de manera correcta las instrucciones de las aplicaciones generadas en capas superiores. Por otra parte cuando el HCI del dispositivo envía información al host, este lo deduce a partir de un driver HCI que se maneja del lado del software. Es decir el HCI del dispositivo se comunica por medio de comandos de control directamente a un driver HCI del host.

Entre el firmware HCI del dispositivo y el driver HCI del host, se encuentra una capa intermedia de transporte encargada de la transferencia de la información entre estas dos capas. La capa de transporte se puede presen-

tar por USB, UART ó RS232.

### **3.3.6. L2CAP - Protocolo de adaptación y de control de enlace lógico**

La capa L2CAP se define como Protocolo de adaptación y de control de enlace lógico BT. Permite la multiplexación de protocolos de las capas superiores de la pila BT. También, realiza las tareas de verificar que todos los paquetes sean divididos para ser enviados (paquetización). Por medio de la capa L2CAP es posible el envío y la recepción de datos a capas superiores de la pila de protocolos.

L2CAP permite transmitir y recibir las capas superiores y aplicaciones. Esta capa está determinada por el concepto de canales. L2CAP define canales lógicos o bien canales L2CAP, esto se define como una comunicación lógica ACL. Cada conexión lógica a un dispositivo BT por medio de la capa L2CAP se le denomina Identificador de canal(CID). Un dispositivo BT puede asignar canales lógicos CID a cualquier otro dispositivo en la piconet.

En la figura 3.9 se muestra el esquema en el que la capa L2CAP trabaja, usando el CID entre extremos lógicos de dispositivos. Los canales de conexión de datos determinan una conexión entre dos dispositivos BT, los canales sin conexión, limitan el envío de datos en un sentido solamente, estos canales sin conexión se utilizan para establecer sobre ellos, un grupo de canales un CID (fuente) es un dispositivo o varios pero trabajando remotamente. Existe una última conexión, la cual es determinada para propósitos especiales o bien reserva de canal, dicho canal recibe el nombre de canal de señalización, también es empleado para establecer conexión de datos y en auxiliar cuando se requiere hacer cambios en las características de canales de conexión y sin conexión.

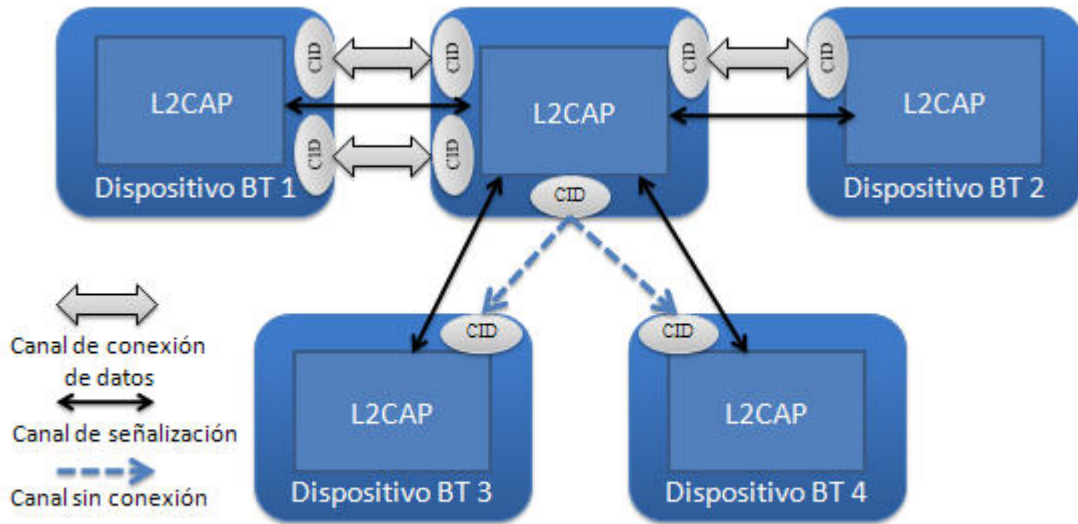


Figura 3.9: Funcionamiento entre dispositivos Bluetooth

La información de esta sección fue recopilada de la referencia [9].

### 3.4. Versiones de Bluetooth

A partir de 1998 cuando la tecnología Bluetooth fue presentada, se han liberado varias versiones. En esta sección se describen las versiones que a la fecha han cubierto la demanda de servicios BT y se definen sus características principales.

**Bluetooth 1.0 y 1.0B.-** Las versiones 1.0 y 1.0B fueron las primeras versiones liberadas al mercado a partir de su presentación en 1998, sin embargo no tuvieron gran éxito, debido a la falta de interoperabilidad entre los dispositivos Bt.

**Bluetooth 1.1.-** Lanzada al mercado en el año 2002 con el éxito que se esperaba en sus versiones anteriores. A esta versión se le debe la Especificación IEEE 802.15.1. Los problemas expuestos por los fabricantes en la

versión 1.0B, fue resuelto con la llegada de BT 1.1, permitiendo principalmente la interoperabilidad entre los dispositivos y con una velocidad de transmisión de 721 kbit/s.

**Bluetooth 1.2.-** La popularidad de Bluetooth se establece con la versión 1.2, obteniendo mejoras en comparativa con versiones anteriores y tiene la ventaja de ser compatible con la versión anterior. La velocidad de transmisión incrementa, llegando a 1 Mbps. Tiene aumentos en la calidad de los servicios, en enlaces con transmisiones de audio y la calidad de la voz es notablemente mayor. Esta nueva versión implementa en su pila de protocolos, la capa de HCI(Host Controller Interface) 3.3.5, y establece el salto de frecuencias FSHH como modulación de canal, de esta manera se evitan las colisiones entre paquetes y la coexistencia de otras tecnologías en el mismo canal de comunicación. Una mejora mas que implementa esta versión es que el descubrimiento y conexión a dispositivos en una piconet se realiza de manera mas rápida.

**Bluetooth 2.0+EDR.-** La versión 2.0+EDR (Enhanced Data Rate) fue liberada a finales del año 2004. La principal aportación en esta versión es el aumento casi al triple de la velocidad de transmisión, migrando de 1 Mbps a 3 Mbps sin el aumento en el consumo de energía. El incremento de velocidad mejora el rendimiento en las transmisiones multimedia. Dicho rendimiento se determina por la combinación de dos técnicas de modulación: GFSK (Gaussian Frequency Shift Keying) y PSK (Phase Shift Keying), ver sección 3.3.3. Es importante destacar que esta versión no es compatible con la versión 1.1. El análisis de desempeño de Bluetooth en este trabajo, es basado en la versión Bluetooth 2.0+EDR, con el fin de identificar si a partir de las mejoras implementadas es posible la transmisión de multimedia, siendo esta transferencia, mas exigente en cuando a consumo de recursos.

**Bluetooth 2.1+EDR.**- Version aprobada por SIG en el año 2007. Esta versión permite identificar un dispositivo y antes de que se establezca una conexión con el, ya se obtuvo información como: nombre del dispositivo ó servicios que maneja ( los servicios se dan en base a los perfiles en los que trabaja, en la sección 3.5 se exponen los perfiles que Bluetooth maneja), entre otras. Bluetooth 2.1+EDR incorpora la función denominada *Sniff Subrating*, la cual permite el ahorro en el consumo de energía, incrementando el rendimiento de la batería hasta 5 veces.

<b>Versión BT</b>	<b>Año</b>	<b>Velocidad de transmisión</b>	<b>Técnica de transmisión por el canal</b>	<b>Técnica de modulación</b>
<b><i>Bluetooth 1.1</i></b>	2002	721 kbit/s	FHSS	GFSK
<b><i>Bluetooth 1.2</i></b>	2003	1 Mbps	AFHSS	GFSK
<b><i>Bluetooth 2.0+EDR</i></b>	2004	1-3Mbps	AFHSS	pi/4-DQPSK o DPSK (carga util).GFSK (código de acceso y encabezado)
<b><i>Bluetooth 2.1+EDR</i></b>	2007	1-3Mbps	AFHSS	pi/4-DQPSK o DPSK (carga util).GFSK (código de acceso y encabezado)
<b><i>Bluetooth 3.0</i></b>	2008	53 - 480Mbit/s		UWB como capa física

Tabla 3.4: Diferencias entre versiones de Bluetooth

La tabla 3.4, responde la pregunta 7, de la sección 1.4, en donde se demuestra que la versión Bluetooth 2.0+EDR, ofrece un incremento del tripe de

la velocidad con respecto a su versión anterior. En la tabla 3.4 se destacan las diferencias de las versiones con mayor importancia de Bluetooth.

### 3.5. Perfiles de Bluetooth

Los perfiles de BT definen los procedimientos (capa de aplicación) que se deben seguir para llegar a la interoperabilidad de los dispositivos BT. Existe una amplia descripción de perfiles, permitiendo a los desarrolladores crear aplicaciones compatibles entre dispositivos Bluetooth. Es importante mencionar, que si dos dispositivos no se encuentran en el mismo perfil, no podrán comunicarse; podrán establecer una conexión, pero no una comunicación e intercambio de datos. Hoy en día se cuenta con una gran gama de perfiles, permitiendo ampliar los escenarios de aplicación, principalmente orientado a la transmisión de video. A continuación se en listan los perfiles que Bluetooth ofrece.

1. **Perfil de sincronización (SYNC).**- Define como sincronizar dos dispositivos BT a través del administrador de información personal (PIM).
  - *Dispositivo con perfil SYNC:* Computadora, teléfono móvil, PDA.
2. **Perfil de Puerto Serie (SPP).**- Define como crear conexiones o bien enlaces virtuales en base a el puerto serie RS-232.
  - *Dispositivos con perfil SPP:* Computadora.
3. **Perfil de Fax.**- Permite el utilizar un dispositivo BT como acceso a una red WAN. Utiliza el dispositivo BT para enviar y recibir fax.
  - *Dispositivos con perfil de Fax:* Portátil, computadora, teléfono móvil, PDA, módem.
4. **Perfil de Transferencia de Archivos (FTP).**- Permite el intercambio de archivos entre dispositivos BT, bajo el estándar cliente-

servidor, por medio de OBEX File Transfer.

- *Dispositivos con perfil FTP:* Computadora, teléfono móvil, PDA.

5. **Perfil manos libres (HFP).**- Define la conexión entre un dispositivo BT con un dispositivo de manos libre, con el fin de realizar y recibir llamadas.

- *Dispositivo con perfil HFP:* Automóvil, manos libres para el coche, sistema GPS, auricular, teléfono móvil, PDA.

6. **Perfil de Auriculares (HSP).**- Permite realizar conversaciones sin necesidad de cables, utilizando un auricular como dispositivo de entrada y salida de audio.

- *Dispositivos con perfil Auricular:* Auricular, teléfono móvil, PDA, computadora.

7. **Perfil de intercomunicador (ICP).**- Simula el funcionamiento de walkie-talkie, permitiendo la conexión de dos teléfonos celulares sin utilizar una red pública, si no en base a lo establecido en una piconet con la tecnología BT.

- *Dispositivos con perfil ICP:* Teléfono móvil, computadora, teléfono inalámbrico o fijo.

8. **Perfil de Carga ó Introducción de Objetos (OPUSH).**- Permite el envío de archivos OBEX Object Push.

- *Dispositivos con perfil de Carga de Objetos:* Teléfono móvil, computadora.

9. **Perfil de redes de área personal (PAN).**- Describe como establecer una red ad-hoc entre dispositivos BT. Y acceder de manera remota a ella mediante un punto de acceso.

- *Dispositivos con perfil PAN:* Teléfono móvil, computadora.

10. **Perfil de dispositivo de interfaz humana (HID).**- Define los pro-

cedimientos para generar interfaces BT.

- *Dispositivos con perfil HID:* Teclado, ratón, presentador inalámbrico, dispositivos de juego, tableta gráfica, computadora, teléfono móvil, PDA.

11. **Perfil básico de impresión (BPP).**- Permite enviar a la impresora archivos de múltiples formatos y ejecutar la función de imprimirlos.

- *Dispositivos de perfil básico de impresión:* Impresora, computadora, teléfono móvil, PDA.

12. **Perfil de telefonía inalámbrica (CTP).**- Describe el establecimiento de un teléfono inalámbrico o teléfono móvil sobre un canal inalámbrico BT.

- *Dispositivo con perfil CTP:* Portátil, computadora, teléfono inalámbrico de mano, teléfono móvil, PDA.

13. **Perfil genérico de intercambio de objetos (GOEP).**- Define el uso de objetos al momento de transferirlo de un dispositivo BT a otro.

- *Dispositivo con perfil GOEP:* Computadora, teléfono móvil, PDA, Visor multimedia.

14. **Perfil básico de imagen (BIP).**- Define como generar conexión y control sobre un dispositivo BT de imagen de manera remota. Por ejemplo modificar tamaño o ajustar diversas variantes, o bien ejecutar funciones de impresión y transferencia de imagen.

- *Dispositivos con perfil básico de imagen:* Cámara digital, computadora, teléfono móvil, impresora, PDA.

15. **Perfil de acceso RDSI común (CIP).**- Define como deben ser transferidas las señales RDSI (Red Digital de Servicios Integrados).

- *Dispositivo con perfil CIP:* Portátil, punto de acceso, computadora, teléfono inalámbrico de mano.

16. **Perfil de red de marcado (DUN).**- Describe una conexión BT que permite el acceso a internet, por medio de un teléfono móvil.
  - *Dispositivo con perfil DUN:* Computadora, teléfono móvil, PDA, modem.
17. **Perfil de sustitución de cable de copia impresa (HCRP).**- Define el enlace inalámbrico BT mediante el cual se ejecuta la impresión de archivos, utilizando controladores en el proceso.
  - *Dispositivos con perfil HCRP:* Impresora, computadora.
18. **Perfil de aplicación de descubrimiento de servicio (SDAP).**- Determina la manera en que la capa SDP descubre los servicios de un dispositivo BT.
  - *Dispositivos con perfil SDAP.*- Computadora, teléfono móvil, PDA, impresora/fax, auricular.
19. **Perfil de distribución de vídeo (VDP).**- Definir características para la transmisión continua de video.
  - *Dispositivos con perfil VDP:* Computadora, reproductor portátil, videocámara, TV, monitor de vídeo.
20. **Perfil de distribución de audio avanzado (A2DP).**- Define la manera de transferencia de sonido estéreo de alta calidad entre dos dispositivos BT.
  - *Dispositivos con perfil A2DP:* Auriculares estéreo, Altavoces estéreo, Reproductores MP3, Teléfonos con reproductor de música, Adaptadores estéreo.
21. **Perfil de control remoto de audio y vídeo (AVRCP).**-Permite manipular equipos electrónicos de audio y video, utilizando el dispositivo BT como control remoto.
  - *Dispositivos con perfil AVRCP:* Dispositivos de control (Com-

putadoras, teléfonos móviles, control remoto, auricular, reproductor/grabador). Dispositivos de destino (Reproductor/grabador de sonido, Reproductor/grabador de vídeo, TV, Amplificador o auricular).

## 22. Perfil de distribución genérica de audio y vídeo (GAVDP).-

Define el diseño para transmisión de sonido e imagen sobre un canal inalámbrico BT.

- *Dispositivo con perfil GAVDP*: Reproductor de música, auriculares estéreo, altavoces estéreo, computadora, teléfono móvil, PDA.

A partir de las múltiples opciones de desarrollo que Bluetooth nos ofrece, y al mismo tiempo respondiendo la pregunta 5, de la sección 1.4, destacamos los perfiles de FTP, VDP y GAVDP, como los que ofrecen mayor ventaja para efectuar una transmisión de video. Este estudio se hizo con el soporte del perfil FTP, debido a que VDP y GAVDP, son relativamente nuevos, que aun no se implementan en los dispositivos comerciales.

## 3.6. Aplicaciones de Bluetooth

Bluetooth trabaja en aplicaciones tan extensas como los perfiles se lo permitan, en la sección 3.5 se describe cada perfil de Bluetooth. A partir del perfil seleccionado es el servicio que se puede establecer sobre un dispositivo BT. Son muchas las aplicaciones que a la fecha han conquistado la atención de múltiples usuario. Algunos ejemplos de aplicaciones y servicios, se enlistan a continuación:

- Publicidad por puntos de accesos Bluetooth.
- Bluetooth en la administración de componentes en un carro.
- Control de electrodomésticos.

- Accesorios para celulares, con capacidad de audio inalámbrica.
- Conectividad a internet, acceso a red.
- Capacidad de fax.
- Transferencia de archivos entre dispositivos.
- Sincronización (agenda, calendarios, mensajes, y notas).
- Control de dispositivos remotos: luces, puertas, alarmas.
- Conectividad entre dispositivos informáticos.

Con la distribución exitosa en diversas aplicaciones basadas en la tecnología Bluetooth, las investigaciones para innovadoras aplicaciones están despertando el interés para enfoques multimedia, esto es, llegar a una transmisión de video en tiempo real (TVTR), como se presenta en la figura 3.10, sin embargo, debido a la limitación de ancho de banda y altas tarifas de error es prácticamente ineficiente la transmisión sobre Bluetooth. Por lo tanto, en este momento todo apuntan, a determinar cómo lograr por medio de los protocolos apropiados crear un ambiente para el desarrollo de estas aplicaciones, como se presenta en las referencias [1],[3].

En la figura 3.10 se presenta un escenario en donde el dispositivo celular captura video y simultáneamente se muestra en la pantalla del dispositivo y en una PC portátil. Esto es lo que se define como: transferencia de video mostrada en tiempo real. El escenario ofrece un ambiente ideal de transmisión. El objetivo principal en desarrollo, respecto a la figura 3.10, es el llegar a utilizar Bluetooth como tecnología de transmisión entre el celular y la PC portátil, tal como se muestra en el esquema representado en la figura 2.6, de la sección ??.

Por otro lado, como Bluetooth transmite en el espacio libre, para una TVTR es necesario tomar en cuenta la naturaleza de la señal inalámbrica



Figura 3.10: Escenario de transmisión de video en tiempo real

(se explica con detalle en la sección 3.3.2 de Radio), en donde las métricas de retardo y pérdida de paquetes se hacen presentes y en contraparte en una transmisión de video se requiere la mínima tasa de error. En una red de conmutación de paquetes como es el caso de Bluetooth, hay que evitar congestionamiento y mantener calidad de servicio aun con pérdida de paquetes baja (casi cero), aquí es donde entra en juego el control de calidad y retransmisión de paquetes.

### **3.7. Resumen**

En esta sección discutimos las ventajas que las WPAN's ofrecen sobre otras tecnologías de comunicación inalámbrica. Su inmediata comunicación, alta seguridad y bajo costo, generan el interés para cubrir servicios exigentes,

en base a requerimientos de calidad.

Bluetooth alienta a la investigación, aprovechando sus ventajas de implementación, pero con el fin de identificar y reestructurar las limitaciones en control y transmisión de datos. Esta tecnología cuenta con varias versiones, estas versiones se exponen claramente en la sección ??; Resumidamente la versión 1.2, a diferencia de la versión 1.1, permite a un mismo equipo tener conexión Bluetooth y Wi-Fi. Además, es más segura y ofrece mejor calidad de audio. La versión 2.0+EDR incorpora la tecnología Enhanced Data Rate (EDR), que aumenta la velocidad de transmisión hasta 3 Mbps. La última edición Bluetooth es la 2.1, con mejor facilidad de conexión entre equipos y un ahorro de energía cinco veces mayor. Actualmente se encuentra en desarrollo la versión 3.0, la cual promete velocidades mayores a las de WiFi, abriendo posibilidades de nuevos proyectos de desarrollo sobre la tecnología de corto alcance Bluetooth.

El desarrollo de este análisis de desempeño fue basado en la versión Bluetooth 2.0+EDR, implementando la máxima velocidad de transferencia de Bluetooth que se encuentra comercialmente, a la fecha.

# Capítulo 4

## Metodología de Evaluación y Resultados

### 4.1. Metodología de Evaluación

La Metodología de Evaluación se eligió en base a dos escenarios de uso cotidiano, lo cual permite darles a las mediciones un ambiente de aplicación más real, el esquema del escenario principal, es representado en la figura 4.2. Para el desarrollo del experimento, se requirió equipo el cual consistió en:

1. Dos sniffers
2. Un nodo Servidor BT
3. Cinco nodos Cliente BT

Los dispositivos BT utilizados tanto para el servidor, clientes y sniffers fueron los nodos ANYCOM USB-200/250 Bluetooth 2.0+EDR. Los dispositivos ANYCOM USB-200/250 cumplen con las especificaciones BT tal como se cita en [9]. De los sniffers, uno (Sniffer A) se utilizó para la medición de paquetes Bluetooth, el cual estuvo inmerso en la Piconet, donde se efectuó la transmisión. El segundo sniffer (Sniffer B), se utilizó para detectar errores debido a interferencia de procesos externos tales como interferencia debido a transmisiones WiFi.

La computadora que alojó al sniffer A se instaló el analizador de red Packet Analyzer Colasoft Capsa 6.7, el cual está optimizado para analizar tráfico BT. En la computadora que alojó el sniffer B se instaló el analizador Wireshark 1.0, el cual es la nueva versión del analizador de redes Ethereal, ampliamente utilizado para el análisis de tráfico WiFi. Para determinar el analizador de red, fue necesario realizar un estudio, en donde se pusieron a prueba los analizadores más comerciales, para determinar, cuál de ellos tenía las capacidades óptimas para la captura de paquetes tanto Bluetooth como WiFi, a continuación se enlistan los analizadores probados.

1. IP Traffic V2
2. FTS4BT-7.8.12.0
3. FTS4BT-7.12.13.0
4. Wireshark-0.99.-6
5. Packet Analyzer Colasoft Capsa 6.7
6. MeshDecoder-7.12.12.0
7. Colasoft MAC Scanner Pro
8. Colasoft EtherLook 1.0

De la lista anterior resaltamos que los Analizadores 4 y 5 fueron implementados en el experimento, como se menciona antes del listado. El objetivo principal de utilizar un sniffer B para la medición WiFi, se basa en examinar el funcionamiento de Bluetooth en presencia de redes WiFi y sin ella, para llegar a una comparación del desempeño de BT con interferencia de una tecnología inalámbrica trabajando en la misma banda de frecuencia. La importancia de lo anterior se expone en la sección 3.3.2. Por otro lado, con los datos obtenidos también se realizó una comparación con resultados previos publicados para la versión 1.2 de BT. La tarjeta de medición WiFi implementada, fue Intel(R) PRO/Wireless 3945ABG.

## 4.2. Diseño del Experimento I

Como se menciona en la sección 2.1, existen variables o métricas que definen la calidad de la comunicación entre un nodo fuente y un nodo destino. Para este escenario de prueba se utilizó la métrica de *retardo de transferencia de archivo (RTA)*. Este parámetro mide el tiempo promedio en que el sistema Bluetooth transferirá archivos de un punto origen a un punto destino, es decir en el primer escenario de evaluación, únicamente se utilizan dos nodos BT, un nodo maestro y un nodo esclavo. El parámetro RTA se gráfica en función de la distancia del par transmisor - receptor. Obtener estos resultados de RTA en función de la distancia es importante debido a la naturaleza inalámbrica de la transmisión, en donde el desvanecimiento de la señal puede provocar retransmisiones o pérdidas de paquetes, definido anteriormente en la sección 3.3.2.

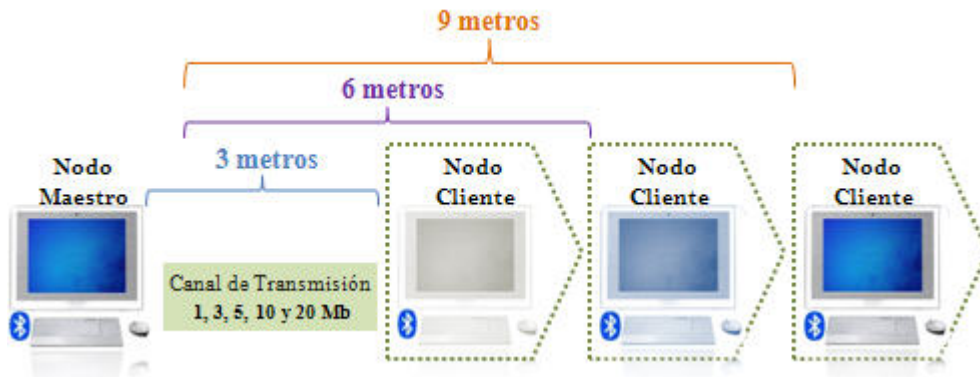


Figura 4.1: Distancia entre nodos en la medición

Como la medición se realiza a partir de la transmisión sobre el canal, es importante capturar los datos de RTA en base a la distancia entre los nodos. Las mediciones se realizaron a distancias de 3, 6 y 9 metros. La distancia de 9 metros se eligió como máxima debido a que en mediciones previas a una distancia mayor de 10 metros se observó una pérdida excesiva de pa-

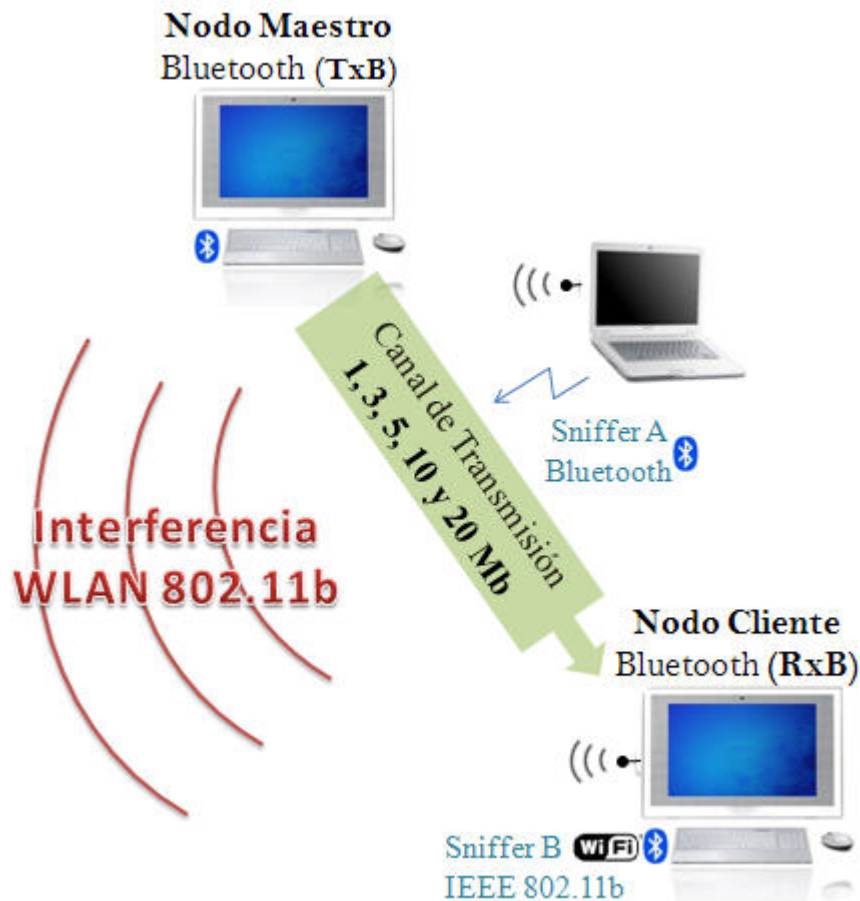


Figura 4.2: Escenario de experimentación

quetes, aunado a que los dispositivos utilizados especifican una distancia máxima de transmisión de 10 metros, tal como el estándar IEEE 802.15.1 define la estructura de red, desarrollado en la sección 3.3.1, en la figura 4.1, se ejemplifica, que el nodo cliente es el único que cambia de lugar, obteniendo mediciones a las 3 diferentes distancias. En el envío de archivos se hizo en base a tamaños variables. Los tamaños de archivos utilizados fueron de 1, 3, 5, 10 y 20 Mbytes, tal como se muestra en la figura 4.2.

Los resultados son el promedio de realizar 30 iteraciones la misma medición. Esto es, transmitir 30 veces el archivo de un 1 Mbytes a una distancia de 3 metros y así sucesivamente para cada una de las mediciones.

El modo de operación en el escenario 4.2, es el siguiente: se transfiere un

<b>Distancia en metros</b>	<b>1 Mb</b>	<b>3 Mb</b>	<b>5 Mb</b>	<b>10 Mb</b>	<b>20 Mb</b>
<b>3</b>	6.27	16.985	27.665	55.32	108.11
<b>6</b>	8.21	21.705	37.55	76.865	110.65
<b>9</b>	9.32	26.435	43.115	88.3	135.59

Tabla 4.1: Retardo promedio en segundos entre BT transmisor - BT receptor, sin obstáculos.

archivo de tamaño variable del Nodo 1 (BT transmisor Tx) al Nodo 2 (BT receptor Rx). Esta transmisión se monitorea por el Sniffer A y Sniffer B, simultáneamente. Las mediciones se hicieron en dos modalidades, con obstáculos y sin obstáculos. Los obstáculos en las mediciones se deben a que Bluetooth opera generalmente en ambientes interiores, donde la presencia de barreras para la propagación de la señal es casi inevitable, en la sección 3.3.2, se profundiza sobre propagación de la señal inalámbrica. La tabla 4.1 muestra los resultados del RTA en segundos para diferentes tamaños de archivos transmitidos a diferentes distancias, sin que exista obstáculo entre el par transmisor - receptor, la figura 4.3 gráfica estos resultados. La tabla 4.2 muestra los resultados del RTA en segundos para diferentes tamaños de archivos transmitidos a diferentes distancias, con una pared de concreto como obstáculo entre el par transmisor - receptor, la figura 4.4 gráfica estos resultados.

Comparando los resultados de la tabla 4.1 con la tabla 4.2 se observa un incremento en el tiempo de transferencia del archivo cuando existen ob-

<b>Distancia en metros</b>	<b>1 Mb</b>	<b>3 Mb</b>	<b>5 Mb</b>	<b>10 Mb</b>	<b>20 Mb</b>
<b>3</b>	7.50	18.82	35.76	81.70	137.84
<b>6</b>	8.96	23.76	38.42	81.10	153.70
<b>9</b>	12.56	32.22	51.86	99.33	202.43

Tabla 4.2: Retardo promedio en segundos entre BT transmisor - BT receptor, con obstáculos

stáculos entre el par Tx (transmisor) - (Rx) receptor y sin importar la distancia en que ambos se encuentren. Este incremento se debe a que la señal electromagnética pierde potencia al atravesar el obstáculo provocando errores en el paquete de datos y esto obliga al receptor solicitar la retransmisión de dicho paquete. Obteniéndose un incremento promedio de 1.5 segundos en archivos de 1 a 3 mega bytes, y a partir de los 5 a 20 mega bytes se observa un mayor incremento de 2 seg hasta 30 seg.

De este experimento es importante resaltar que la existencia de una pared de concreto como obstáculo puede ocasionar altas tasas de retardo. Este retardo se debe a la retransmisión de paquetes que se presenta al obstruir la transmisión, reducción de la potencia de la señal, y algunos paquetes no llegan a su destino.

En la figura 4.5 se muestran los retardos promedios de la transferencia de archivos en función del tamaño del archivo, ya sin tomar en cuenta la distancia. El eje de las  $y$  muestra el la media de retardo retardo, obtenido de

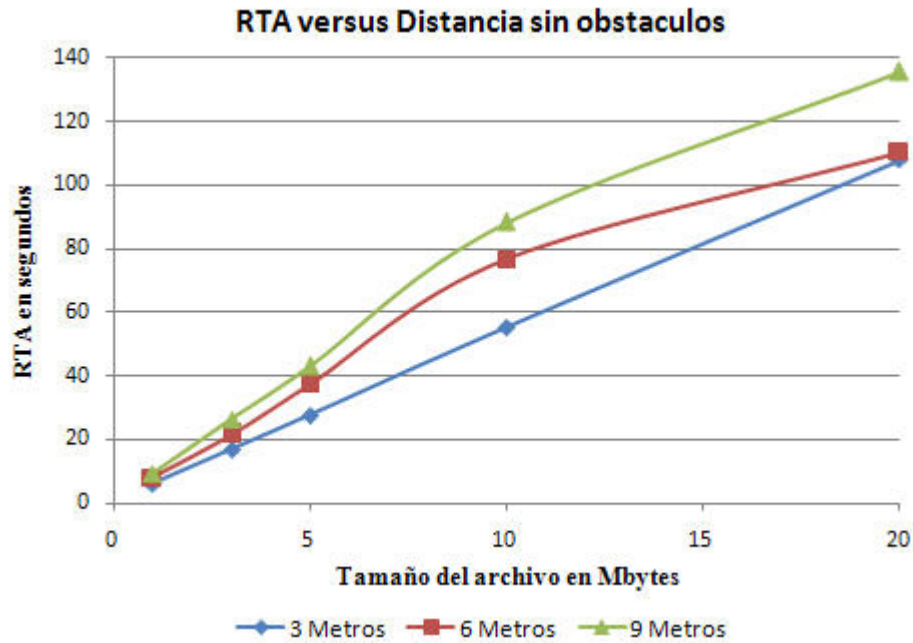


Figura 4.3: RTA promedio en función de la distancia, sin obstaculos.

promediar los valores de las columnas en las tablas 4.1 y 4.2. Por ejemplo para transmitir un archivo de 1 Mb sin obstáculos (tabla 4.1) se promedian los valores de  $(6.27+8.21+9.32)/3=7.93$  y así sucesivamente. Este dato es importante porque en una aplicación real los usuarios no toman en cuenta la distancia para la transferencia de archivos entre dispositivos que incluyan esta tecnología. La tabla 4.3 muestra los valores de retardo promedio en función del tamaño de paquete utilizados para graficar la figura 4.5

De la figura 4.5, la línea punteada muestra los promedios obtenidos sin obstáculos y la línea continua los promedios obtenidos con obstáculos. Se puede observar que el retardo promedio sin obstáculos (línea puenteadada) en función del tamaño del archivo sigue un modelo lineal, dado por la ecuación:

$$y = 5,8209x + 6,0682...(1)$$

El coeficiente de correlación obtenido de  $R^2 = 0.9844$  comprueba la lineal-

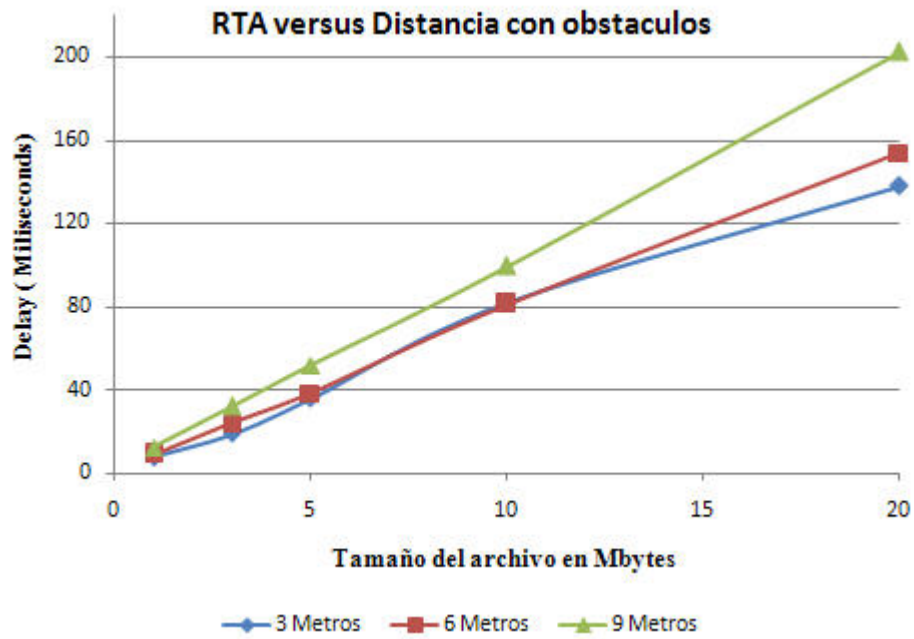


Figura 4.4: RTA promedio en función de la distancia, con obstáculos.

idad entre el RTA promedio en función de la distancia del par transmisor - receptor. De la misma manera en la figura 4.5 se observa que este modelo lineal se mantiene de igual manera con una pared de concreto como obstáculo entre los nodos transmisor y receptor. La ecuación:

$$y = 8,2234x + 1,5871...(2)$$

Estas ecuaciones se obtuvieron a partir de la sustitución de los resultados obtenidos, en el programa Matlab y comprobándolos en el programa Microsoft Excel. Para la ecuación 2 el coeficiente de correlación obtenido de  $R^2=0.998$  comprueba la linealidad entre el RTA promedio en función de la distancia con una pared de distancia con una pared de concreto como obstáculo entre el par transmisor - receptor. La existencia de una ecuación

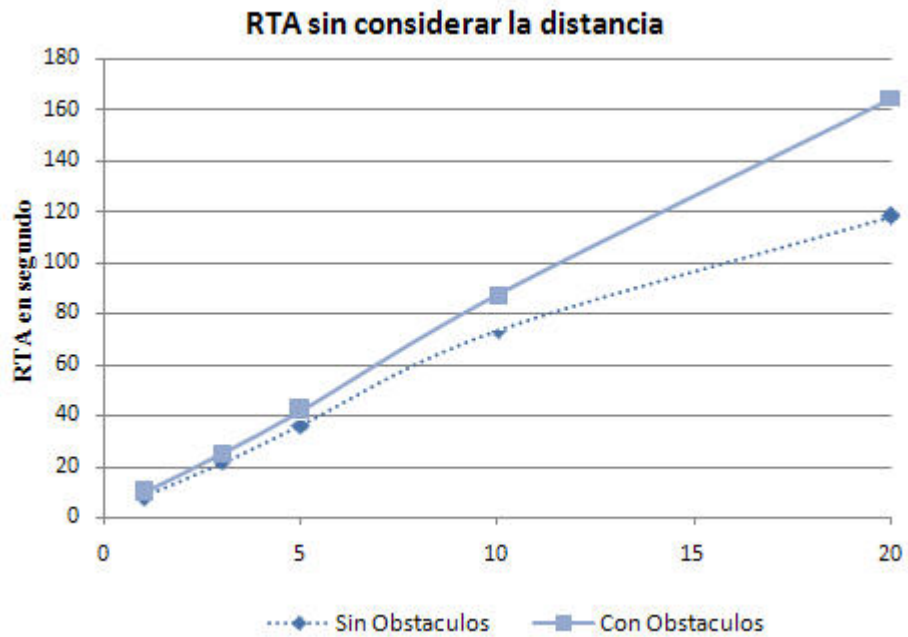


Figura 4.5: Retardos promedios en función al tamaño del archivo.

lineal para modelar el RTA sin y con obstáculos muestra que el desempeño de la tecnología BT dentro de su rango de operación es confiable y que las pérdidas por propagación debido a obstáculos también son estables dentro de este rango de operación, lo cual es útil para aplicaciones multimedia.

<b>Distancia en metros</b>	<b>1 Mb</b>	<b>3 Mb</b>	<b>5 Mb</b>	<b>10 Mb</b>	<b>20 Mb</b>
<b><i>RTA sin obstáculos</i></b>	7.930	21.708	36.110	73.495	118.116
<b><i>RTA con obstáculos</i></b>	9.670	24.933	42.013	87.376	164.656

Tabla 4.3: RTA para diferentes tamaños de archivo sin tomar en cuenta la distancia.

### **4.3. Comparación de mediciones entre versiones Bluetooth**

Mucho se investiga respecto al desempeño de ambas tecnologías, en la referencia [24] se dan resultados del desempeño de Bluetooth versión 1.2 para el mismo experimento: RTA versus distancia. Para propósitos de comparación se utilizaran los tamaños de archivo de 1 y 5 Mbytes transmitidos a una distancia de 6 metros sin obstáculos. Estos resultados se muestran en la tabla 4.4. Los retardos para la transmisión (RTA) de archivo están medidos en segundos.

De la tabla 4.4 se puede concluir que efectivamente se tiene un incremento en la velocidad de transmisión de archivos de 3X para esta nueva versión de la tecnología BT. Es importante remarcar esta conclusión, debido a que esto no necesariamente sucede con otras tecnologías, como es el caso de Ethernet o WiFi. Donde un incremento en la velocidad de transmisión de 10X no se traduce en un incremento similar en la velocidad de

<b>Tamaño de archivo</b>	<b>BT 1.2*</b>	<b>BT 2.0 +EDR</b>
<i>1 MByte</i>	25.7	8.21
<i>5 Mbytes</i>	124.6	37.55

Tabla 4.4: Comparación de mediciones entre versiones de BT

transferencia de archivos, esto debido principalmente al método de acceso empleado y al hecho de agregar campos en el encabezado del paquete de datos, necesarios para asegurar una compatibilidad entre versiones, principalmente con anteriores.

\* Los datos de esta columna son los reportados en la referencia [24].

## 4.4. Coexistencia de Bluetooth y WiFi

Bluetooth y el 802.11 operan en el mismo espectro de frecuencias, de la banda ISM (que no necesita licencia). Por lo tanto se puede esperar que el desempeño de dispositivos usando estas tecnologías, se vea afectado adversamente, cuando operan simultáneamente en un mismo ambiente. Así, el grupo de trabajo de coexistencia 2 (TG2) del IEEE 802.15, ha propuesto un mecanismo adaptativo de salto de frecuencia (AFH). AFH toma en consideración la condición del canal, y cambia los saltos de frecuencia dinámicamente, permitiendo la coexistencia con otros dispositivos trabajando en la banda ISM. AFH consiste en 2 etapas: Clasificación del canal, y el Protocolo de control adaptativo. La clasificación del canal, consiste en elaborar una lista dinámica de canales buenos y malos, basándose en la calidad del canal. Esta información se intercambia, haciendo uso del Protocolo de control adaptativo. Con esta información el protocolo AFH, escoge un conjunto de saltos de frecuencias, de manera que se eviten, tanto como sea posible, los canales malos. Si el número de canales buenos, es menor de 15, (el menor número de canales que necesita Bluetooth para operar, de acuerdo con el estándar), entonces algunos canales malos tendrían que ser utilizados.

En el experimento descrito en la sección 4.5 el sniffer B estuvo monitoreando la red WiFi (IEEE 802.11b) académica instalada y que funciono durante todo el experimento para observar el sí el desempeño de BT se degradaba con la presencia de esta. Durante las mediciones no se observo degradación del desempeño de BT y para comprobar los resultados, el experimento se realizo en dos ocasiones: con y sin la presencia de WiFi. No se observaron diferencias significativas, por lo que los datos reportados en este trabajo son los que arrojó el experimento coexistiendo con la presencia de WiFi. Estos resultados contrastan con los reportados en [6] y [25]

para la versión 1.2 de BT.

En [26] se reporta la evaluación del desempeño de Bluetooth con usuarios móviles, cuando se presenta interferencia de tráfico intenso WiFi. Tanto para la versión 1 como para la versión 2 de Bluetooth, la interferencia de WiFi, en la descarga de archivos cuando el usuario es móvil, se vio afectada, bajando la tasa de bit efectiva, en 30 %, en comparación con la descarga sin presencia de tráfico WiFi. Los autores de [26] concluyen que el mecanismo adaptativo AFH no funciona adecuadamente en el caso de usuarios móviles. Sin embargo para el caso de usuarios relativamente estáticos, que se presenta en este trabajo, la descarga de archivos en presencia de obstáculos, no se afecta por la presencia de tráfico ligero WiFi.

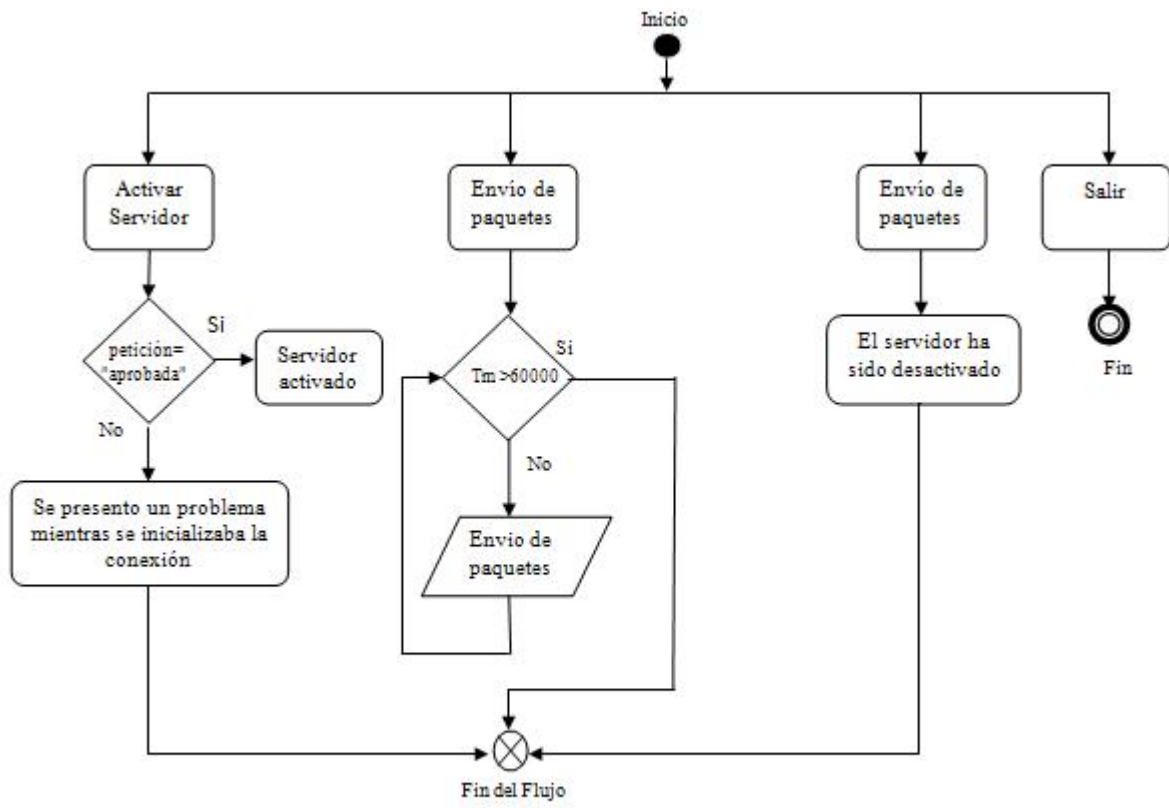
## 4.5. Diseño del Experimento II

Este experimento se diseñó con el fin de medir la tasa de pérdida y retransmisión de paquetes real dentro de una piconet. Este escenario se estableció en base al desarrollo de un software cliente-servidor, con las siguientes características:

- Lenguaje de programación: Java (Librería JB-20, Pila de protocolos Bluetooth)
- Software para el desarrollo: NetBeans 5.5.1

En las figuras 4.6 y 4.7, se muestran los diagramas de actividades del servidor y el cliente, respectivamente.

El modo de operar en este experimento es el siguiente: Dentro de un radio fijo de 3 metros, el servidor inició el envío de paquetes al cliente, o clientes en la piconet, durante 1 minuto. Al iniciar se planteó entre un nodo servidor (maestro) y un nodo cliente (esclavo). Las siguientes iteraciones se miden agregando un nodo cliente a la vez y observando la diferencia en la



Tm = Tiempo en milisegundos

Figura 4.6: Actividades del Servidor

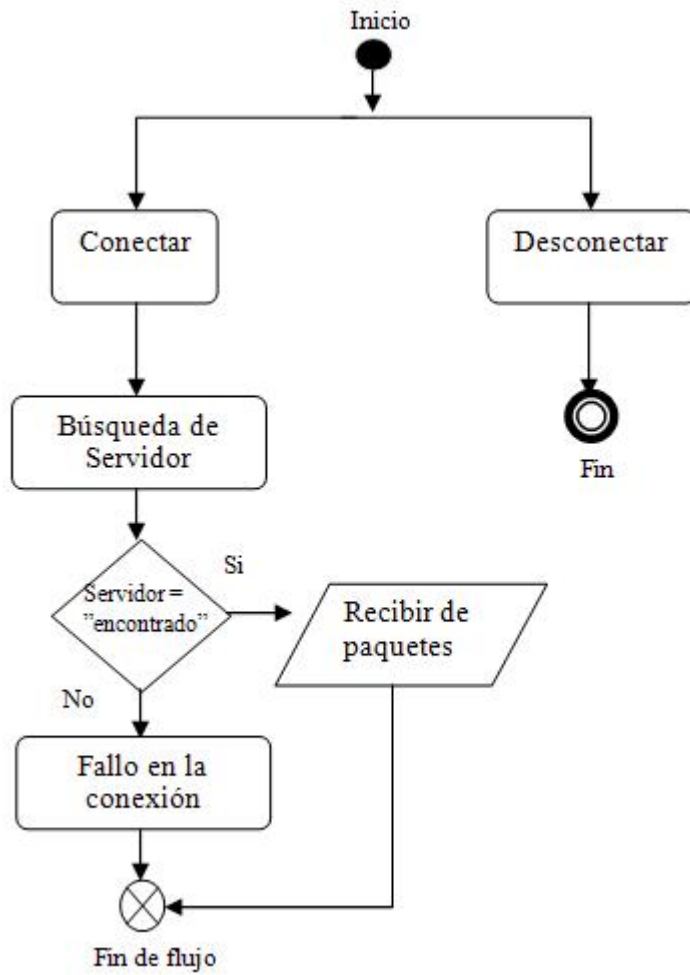


Figura 4.7: Actividades del Cliente

transmisión de paquetes. El experimento se repite hasta contar con un nodo servidor y cinco nodos clientes. En la figura 4.8 se muestra el diseño de experimentación II. Y en la tabla 4.5, se muestran las mediciones del experimento.

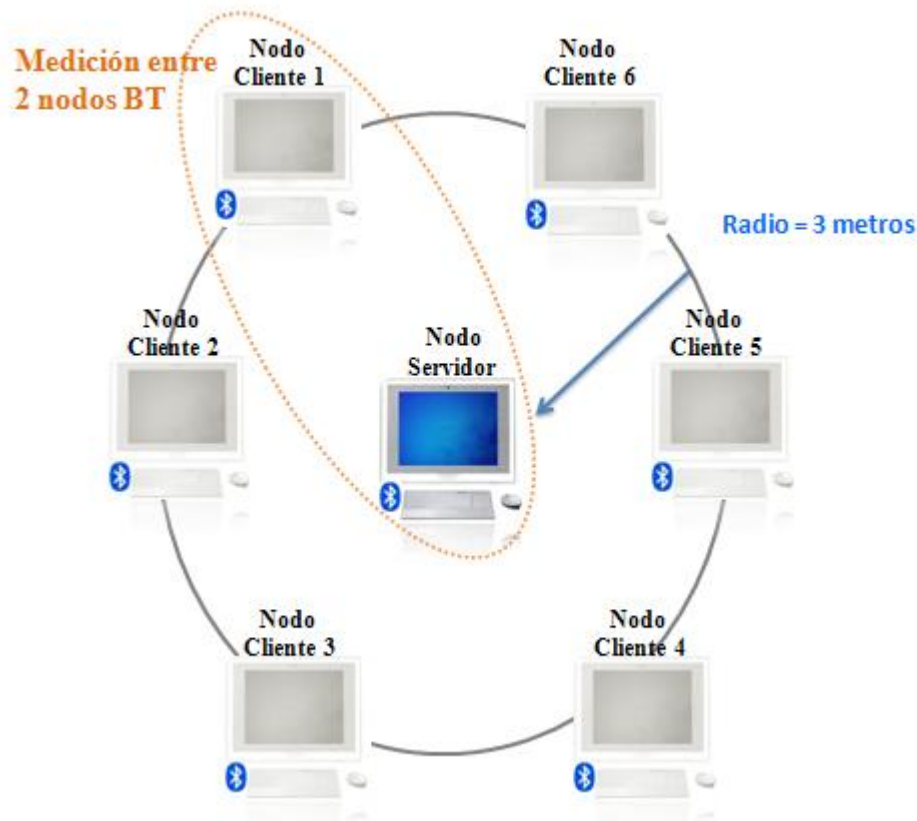


Figura 4.8: Escenario II de experimentación

En la figura 4.8 se representa una piconet, primero entre dos nodos BT, hasta llegar a 6 nodos BT. Resaltado que mientras se agregan mas nodos a la piconet, el nodo servidor, envía menos paquetes, debido a que el nodo servidor divide el tiempo de transmisión (en este caso 1 minuto), entre los nodos conectados a el.

Se midieron los paquetes enviados por el servidor, y lo paquetes que cada cliente recibe, la diferencia de estas dos variables, nos representa la perdi-

Nodos BT	Envía Servidor	Recibe Cliente 1	Recibe Cliente 2	Recibe Cliente 3	Recibe Cliente 4	Recibe Cliente 5
2	64434	64434				
	60296	60296				
3	29446	29446	29446			
	30622	1110	30619			
4	19325	1735	917	19325		
	19392	967	1026	7		
5	9925	425	997	122	9924	
	5348	5224	5342	33	4045	
6	5327	48	5275	98	863	5289
	5365	11	5333	69	5263	983

Tabla 4.5: Paquetes transmitidos y recibidos.

Nodos BT	Envía Servidor	Recibe Cliente 1	Recibe Cliente 2	Recibe Cliente 3	Recibe Cliente 4	Recibe Cliente 5
2	64434	0				
	60296	0				
3	29446	0	0			
	30622	29450	3			
4	19325	17550	18406	0		
	19392	18418	18360	19378		
5	9925	9430	8927	9746	0	
	5348	4	0	5283	603	
6	5327	5232	20	5186	4164	0
	5365	5350	0	5262	0	3982

Tabla 4.6: Paquetes perdidos.

da de paquetes que se obtuvo, es decir:

$$PaquetesPerdidos = PaquetesEnviados - PaquetesRecibidos$$

En la tabla 4.6, se muestran las mediciones de paquetes perdidos.

Los paquetes fueron numerados, para determinar que todos llegaran con una secuencia correcta. Sin embargo se presento un alto porcentaje de paquetes retrasados. Los resultados de paquetes retrasados en función de los paquetes recibidos se exponen en la tabla 4.7.

Nodos BT	Envía Servidor	Recibe Cliente 1	Recibe Cliente 2	Recibe Cliente 3	Recibe Cliente 4	Recibe Cliente 5
2	64434	0				
	60296	0				
3	29446	0	0			
	30622	62	0			
4	19325	40	2	0		
	19392	7	6	7		
5	9925	70	1	57	1	
	5348	120	6	32	700	
6	5327	47	32	43	300	38
	5365	4	32	34	102	400

Tabla 4.7: Paquetes Retrasados.

Con los resultados anteriores se demuestra, que dentro de una piconet, es posible la transmisión sin errores únicamente entre dos nodos BT. Podemos contar con hasta 7 nodos BT conectados o bien 7 diferentes servicios BT, sin embargo no es posible utilizarlos simultáneamente. En la figura 4.9, se representa el envío de paquetes por parte del servidor.

El servidor es capaz de enviar un número  $X$  de paquetes en una ventana de tiempo específica, sin embargo, al momento de agregar nodos a la piconet, es su función, asignarle un espacio a cada nodo. Es decir el tiempo es dividido, por ello, mientras más nodos existan en una piconet, menos paquetes se enviara. Como se muestra en la figura 4.9.

## 4.6. Resumen

Concluimos de este capítulo respecto al desempeño de la tecnología Bluetooth, que el retardo en la transferencia de archivos de tamaño variable es proporcional al tamaño del archivo transmitido y sigue un modelo lineal sin y con la presencia de obstáculos entre el origen y el destino. Otra conclusión importante es que la presencia de obstáculos entre el origen y el destino introduce un retardo sin importar la distancia en que estos se encuentren.

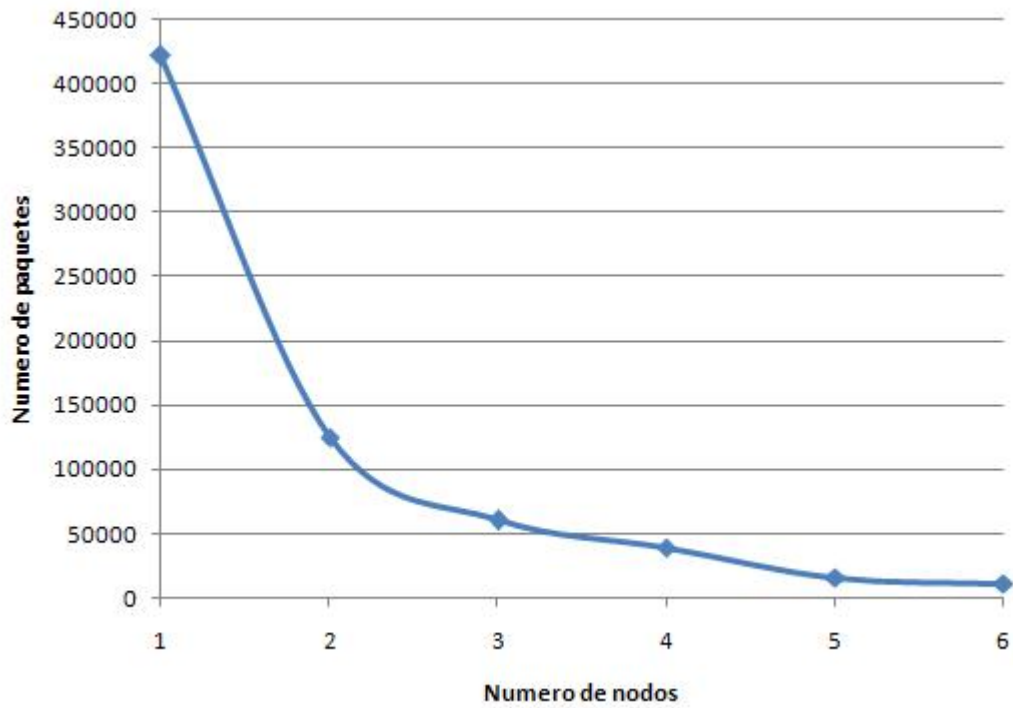


Figura 4.9: Paquetes enviados en función del numero de nodos

De la misma manera, es importante destacar que mientras mas nodos se encuentren conectados en una piconet, el servidor efectúa menos transmisiones, debido a que la ventana de tiempo de transmisión se divide entre los nodos conectados.

# Capítulo 5

## Conclusiones

Como se menciona en la introducción de este trabajo, la importancia del estudio y análisis de la tecnología de BT radica en que se encuentra instalado en miles de millones de dispositivos portátiles. De aquí la importancia de desarrollar esta tecnología, que originalmente fue concebida para la eliminación de cables para dispositivos como teclados, mouse o impresoras. Ahora, debido a su ubicuidad, puede llegar a convertirse en la tecnología que reúna o conjunte a todos los dispositivos informáticos de uso personal y domestico: cámaras de video, cámaras digitales, radios, TV, equipos de sonido, laptops, pda, etc. y posiblemente reemplazar a la tecnología de infrarrojo, principalmente en lo que se refiere a los mandos a distancia, utilizados en aparatos de uso domestico: como televisiones y equipos de sonido, principalmente.

Para que BT llegue a convertirse en la tecnología de transporte de la información de los dispositivos mencionados, debe de ser capaz de poder transmitir video en tiempo real tal como lo citan en las referencias [2], [27], [8], [25] y [28]. También debe ser capaz de poder mantener transmisiones de audio en tiempo real entre más de 3 nodos como citan en [28]. Para lograr estos dos retos, se deben desarrollar nuevos protocolos de transporte (tipo TCP, UDP o RTP) o modificarlos y nuevos esquemas de calendarización

que tomen ventaja de la multiplexión en tiempo del canal de BT. Otro reto importante es lograr aumentar la velocidad de transmisión, para lo cual se esta pensando en la tecnología de Ultra Wide Band (UWB) [9]. Se prevé que las nuevas versiones de BT incluirán este tipo de modulación y que lograrán velocidades de 53 - 480Mbit/s, con lo cual se podría lograr transmitir video en tiempo real y tener transmisiones simultaneas de audio de calidad entre los nodos que forman una piconet.

Los resultados destacados en la sección 4.6 son importantes, ya que en el momento que se desee agregar calidad de servicio a transmisiones multimedia, se puede analizar analíticamente los retardos que tendrán y programar o desarrollar aplicaciones que soporten estos retardos.

Finalizamos este trabajo destacando que no es posible una transmisión sobre un canal Bluetooth, compartiendo simultáneamente con otro nodo. Es decir se puede contar con hasta 7 dispositivos conectados, ofreciendo diversos servicios, pero tales servicios tendrían que ser usados en tiempos diferentes. Ya que se demostró que la tasa de perdida de paquetes es incrementada en función del numero de nodos conectados en la piconet.

Ensenada B.C, Diciembre del 2008

Norma Candolfi Arballo

# Bibliografía

- [1] M. Razvi Doomun *Video Transmission Performance Using Bluetooth Technology*, Innovative Algorithms and Techniques in Automation, Industrial Electronics and Telecommunications, Springer Netherlands, ISBN: 978-1-4020-6265-0, September 04, 2007 2004. pp. 493-506.
- [2] R. Razavi, M. Fleury, M. Ghanbari. *Video - Streaming Applications Enable Across Bluetooth V. 2.0 Interconnects*, . pp. 8.
- [3] Razavi, R. Fleury, M. Jammeh, E. Ghanbari, M. *Efficient Packetisation scheme for bluetooth video transmission*, Electronic Systems Engineering Dept., University of Essex, Colchester, 28 September 2006, Volume: 42, Issue: 20 page(s): 1143- 1145.
- [4] Wang Xiaohang *Video Streaming over Bluetooth: A survey*, Institute for Infocomm Research (I2R) / School of Computing, NUS.
- [5] Iyer, A. Desai, U.B., Dept. of Electr. Eng., IIT, Bombay, India *A Comparative Study of Video Transfer over Bluetooth and 802.11 Wireless MAC*, Wireless Communications and Networking, IEEE, vol. 3, 2003.
- [6] Ferro Erina, Potorti Francesco *Bluetooth and WI-FI Wireless Protocols: A Survey and a Comparison*, IEEE Wireless Communications Magazine, Institute of the National Research Council, 2004.
- [7] Bluetooth SIG membership website <http://www.bluetooth.org>
- [8] Razavi Rouzbeh, Fleury Martin and Ghanbari Mohammed *Unequal Protection of Video Streaming through Adaptive Modulation with a Trizone Buffer over Bluetooth Enhanced Data Rate*, EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, Volume 2008, Article ID 658794, October 2007.
- [9] Bluetooth <http://www.bluetooth.com>
- [10] Definitive Information for the Mobile Community <http://www.themobileworld.com>
- [11] WiMedia Alliance <http://www.wimedia.org>
- [12] Koenen Rob *International Organization for Standardization Organization International de Normalization ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 Coding of Moving Picture and Audio*, MPEG-4 Overview, Version V.21 WG11 (MPEG), March 2002
- [13] J.M. Diez, V.Casares, miembros de IEEE *Traffic model for scalable and non scalable MPEG VBR Video*, Latin America Transactions, IEEE (Revista IEEE America Latina) Volume 3, Issue 3, July 2005 Page(s):242 - 247
- [14] E.Casilari, A. Reyes Lecuona, A. Diaz Estrella y F. Sandoval. *Caracterización de trafico de video y trafico internet*, Dpto. Tec-

- nología Electrónica, E.T.S.I. Telecomunicación, Universidad de Málaga, Campus de Teatinos, Volumen 308, 2000.
- [15] Axis Communications *Compresión de video digital; Métodos y estándares a usar para la transmisión y almacenamiento de video*, <http://www.axis.com>, Agosto 2004.
  - [16] González Arencibia Mario *de unos y ceros en la gerencia empresarial* ISBN-10: 84-689-6767-X.
  - [17] Salmi Jussi *WPAN Wireless Personal Area Network*, Helsinki University of Technology, Febrero 2006
  - [18] Vidal Iván, García Carlos, Soto Ignacio, Moreno José Ignacio *Servicios de valor añadido en redes móviles Ad-Hoc*, Departamento de Ingeniería Telemática. Universidad Carlos III de Madrid
  - [19] Manzoni Pietro, Cano Juan Carlos *Redes Inalámbricas Ad-Hoc: Una Nueva Tecnología para dar soporte a las aplicaciones ubicuas*, Instituto Tecnológico de Informática.
  - [20] Ka Lok Chan, Vojislav B. Misic, and Jelena Misic *Efficient Polling Schemes for Bluetooth Picocells Revisited*, Proceedings of the 37th Hawaii International Conference on System Sciences - 2004.
  - [21] Ali-Rantala, P.; Sydanheimo, L.; Keskilammi, M.; Kivikoski, M. *Indoor propagation comparison between 2.45 GHz and 433 MHz transmissions*, Antennas and Propagation Society International Symposium, 2002. IEEE, Volume 1, Issue , 2002 Page(s): 240 - 243. [10.1109/APS.2002.1016293](http://10.1109/APS.2002.1016293)
  - [22] Zurbes, S. Stahl, W. Matheus, K. Haartsen, J.Ericsson Eurolab Deutschland GmbH, Nurnberg; *Radio network performance of Bluetooth*, Communications, 2000. ICC 2000. 2000 IEEE International Conference, 2000, Volume: 3, On page(s): 1563-1567 , ISBN: 0-7803-6283-7
  - [23] Francisco Martín Archundia Papacetzzi *Wireless Personal Area Network (WPAN) and Home Networking*, Tesis profesional Universidad de las Américas Puebla, Escuela de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Electrónica, Cholula, Puebla, México a 16 de diciembre de 2003. [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lem/archundia\\_p\\_fm/](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/archundia_p_fm/)
  - [24] R. Rashid, R.A.; Yusoff *Bluetooth Performance Analysis in Personal Area Network (PAN)*, IEEE International RF and Microwave Conference Proceeding. September 12-14, 2006. Putrajaya, Malaysia.
  - [25] Shuaib, K. Boulmalf, M. S. F. L. A *Performance Analysis Co-Existence of IEEE 802.11g with Bluetooth.*, Wireless and Optical Communications Networks, 2005. WOCN 2005. Second IFIP International Conference on Volume , Issue , 6-8 March 2005.
  - [26] Uichin Lee, Sewook Jung, Alexander Chang, Dae-Ki Cho, Mario Gerla *Bluetooth-based P2P Content Distribution to Mobile Users* , UCLA Technical Report: TR-070013 (submitted to TMC).
  - [27] Vilovic, I.; Zovko-Cihlar *Performance of the Bluetooth - based WPAN for Multimedia Communication*, Video/Image Processing and Multimedia Communications, 2003. 4th EURASIP Conference focused on Volume 2, Issue , 2-5 July 2003 Page(s): 783 - 788
  - [28] David McCall *Taking a walk inside Bluetooth EDR.*, <http://www.wirelessnetdesingline.com>

$\Phi$