



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**CONDICIONES NECESARIAS PARA LA CONEXIÓN DE DISPOSITIVOS
INALÁMBRICOS EN GUATEMALA A TRAVÉS DEL PROTOCOLO
BLUETOOTH**

Juan Pablo Hurtarte Cáceres
Asesorado por Ing. Enrique Edmundo Ruiz Carballo

Guatemala, agosto de 2005

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

CONDICIONES NECESARIAS PARA LA CONEXIÓN DE DISPOSITIVOS
INALÁMBRICOS EN GUATEMALA A TRAVÉS DEL PROTOCOLO
BLUETOOTH

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

JUAN PABLO HURTARTE CÁCERES

ASESORADO POR ING. ENRIQUE EDMUNDO RUIZ CARBALLO

AL CONFERIRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO EN ELECTRÓNICA

GUATEMALA, AGOSTO DE 2005

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	
VOCAL II	Lic. Amahan Sánchez Álvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. Edmundo Enrique Ruiz Carballo
EXAMINADOR	Ing. Gustavo Adolfo Villena
EXAMINADOR	Ing. Otto Fernando Andrino González
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

CONDICIONES NECESARIAS PARA LA CONEXIÓN DE DISPOSITIVOS INALÁMBRICOS EN GUATEMALA A TRAVÉS DEL PROTOCOLO BLUETOOTH,

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica con fecha 11 de mayo de 2004, ref. EIME 88 2004.

Juan Pablo Hurtarte Cáceres

DEDICATORIA

A:

Dios

Mis padres

Gustavo Alfredo Hurtarte Aroche y Ada Myriam Cáceres de Hurtarte;

Mis hermanos

Gustavo Antonio, José Alfredo, Myriam Carolina, Ada Marlene, Ana Ruth y Luis Pedro;

Mis cuñados

Azucena Garrido, Beatriz Vásquez, Federico Fuentes y Carlos Mérida;

Mi abuela

Lucy de Hurtarte.

AGRADECIMIENTOS

A:

Toda mi familia por apoyarme durante todos los años de estudio y en especial a mi primo Eduardo Antonio Cáceres quien me brindó su apoyo durante los últimos años universitarios;

todos mis amigos conocidos durante estos años de estudio, por la ayuda brindada especialmente en la realización de proyectos: Marco Vinicio Pellecer, Yasser Estuardo Samayoa, Juan Ricardo Rios, Jesús Alberto Martínez, Edwin Felipe Morales, Cesar Humberto Orellana, Edwin Castro, Juan Carlos García;

mi mis buenos amigos Víctor Rodríguez, Jorge Díaz, Pablo García, Carlos Morales, Hector Porras y Fredy Viana que desde el colegio me han apoyado;

mi asesor el Ing. Enrique Ruiz por el apoyo brindado en la realización de mi tesis.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SIMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XV
OBJETIVOS	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. INTRODUCCIÓN A BLUETOOTH	1
1.1. ¿Qué es Bluetooth?	1
1.2. La banda ISM, la UIT y la FCC.	2
1.3. El SIG	4
1.3.1. Autenticación de productos	7
1.4. ¿Qué se puede hacer con Bluetooth?	8
1.4.1. Transferencia de datos y objetos entre dispositivos.	9
1.4.2. <i>Hansfree</i> inalámbricos.	10
1.4.3. Conexión directa entre teléfonos.	10
1.4.4. Celular como puente de Internet.	11
1.4.5. Punto de acceso de datos.	12
1.4.6. Actualización de agenda electrónica.	13
1.4.7. Tarjeta de presentación y publicidad.	14
1.5. Bluetooth vrs. otras tecnologías.	15
1.5.1. Infrarrojo	15
1.5.2. HomeRF	16
1.5.3. IEEE802	16
1.5.4. ZigBee	18
1.5.5. Comparación entre tecnologías	19
1.6. Conceptos básicos	21

1.6.1. Espectro ensanchado: <i>spread spectrum</i> .	21
1.6.1.1. FHSS	21
1.6.1.2. DSSS	25
1.6.2. Modulación GFSK	25
1.6.2.1. FSK	26
1.6.2.2. Implementación de un filtro gaussiano	28
1.6.3. Requerimientos de modulación para Bluetooth	30
1.7. Definición de piconet y scatternet	31
2. ARQUITECTURA DEL PROTOCOLO BLUETOOTH	35
2.1. Modelo de referencia OSI	35
2.1.1. Capa de aplicación	37
2.1.2. Capa de presentación	38
2.1.3. Capa de sesión	39
2.1.4. Capa de transporte	40
2.1.5. Capa de red	41
2.1.6. Capa de enlace	43
2.1.7. Capa física	44
2.2. Pila del protocolo Bluetooth	45
2.2.1. RFCOMM	49
2.2.2. Protocolos centrales Bluetooth	49
2.2.2.1. Bandabase	49
2.2.2.1.1. Código de acceso	51
2.2.2.1.2. Direcciones Bluetooth	52
2.2.2.1.3. Encabezado	55
2.2.2.1.4. Información	56
2.2.2.2. SCO	58
2.2.2.3. ACL	59
2.2.2.4. LMP: Link Manager Protocol	60
2.2.2.4.1. Sesión general de enlace	61
2.2.2.4.2. Estructura del paquete LMP	63

2.2.2.5.	L2CAP: Logical Link Control and Adaptation Protocol	65
2.2.2.5.1.	Canales de L2CAP.	67
2.2.2.6.	SDP: protocolo de descubrimiento de servicios	68
2.3.	Protocolos adoptados	68
2.3.1.	Protocolo Punto a Punto PPP	68
2.3.2.	TCP/UDP/IP	69
2.3.2.1.	Protocolo de control de transmisión TCP	70
2.3.2.2.	Protocolo de datagrama de usuario UDP	70
2.3.2.3.	Protocolo de Internet (IP)	72
2.3.3.	Protocolo OBEX	73
2.3.4.	Protocolo de aplicaciones inalámbricas WAP	73
3.	PERFILES BLUETOOTH	75
3.1.	Perfil GAP: <i>generic access profile</i> .	76
3.2.	Perfil SDAP: <i>service discovery access profile</i> .	79
3.3.	Perfil SPP: <i>serial port profile</i> .	82
3.3.1.	Protocolo RFCOMM	83
3.4.	Otros perfiles importantes	86
3.4.1.	Perfil de conexión a redes vía dial up	86
3.4.2.	Perfil de acceso a LAN	86
3.4.3.	Perfil de FAX	86
3.4.4.	Perfil de <i>headset</i>	87
3.4.5.	Perfil de telefonía inalámbrica	87
3.4.6.	Perfil de interconexión	87
3.4.7.	Perfil genérico de intercambio de objetos	88
3.4.8.	Perfil de envío de objetos	88
3.4.9.	Perfil de transferencia de archivos	88
3.4.10.	Perfil de sincronización	89

4. DISEÑO DE UNA RED BLUETOOTH	91
4.1. Bases para el diseño	93
4.1.1. Características del recinto	93
4.1.2. Numero de usuarios	98
4.1.3. Prestaciones necesarias	99
4.2. Diseño de la estructura de la red	101
4.2.1. Topología de la red	101
4.2.1.1. Topología de bus	102
4.2.1.2. Topología de anillo	102
4.2.1.3. Topología de estrella	102
4.2.1.4. Topología de árbol	103
4.2.2. Necesidad de repetidores	103
4.2.3. Necesidad de <i>routers</i>	104
4.3. Selección de hardware y software	105
4.4. Aplicaciones	106
4.4.1. Acceso a Internet	106
4.4.2. Intercambio de datos	109
4.5. Condiciones actuales en Guatemala	112
4.5.1. Mercado	112
4.5.2. Atribuciones del espectro radioeléctrico	114
CONCLUSIONES	117
RECOMENDACIONES	119
BIBLIOGRAFÍA	121

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Organigrama del SIG	5
2	Comunicación Bluetooth para intercambio de datos	9
3	<i>Hadsfree</i> Bluetooth	10
4	Comunicación Bluetooth entre celulares	10
5	Conexión Bluetooth a Internet	11
6	Red de datos Bluetooth	12
7	Conexión Bluetooth para agendas electrónicas	13
8	Salto de frecuencia	22
9	Gráfica de 200 usuarios simultáneos	24
10	Gráfica de 30 usuarios simultáneos	24
11	Modulación FSK	26
12	Implementación de un filtro gaussiano	29
13	Piconet	32
14	Scatternet	33
15	Capas del modelo OSI	37
16	Pila del protocolo Bluetooth	46
17	Estructura del paquete Bluetooth	50
18	Estructura del código de acceso	51
19	Estructura de la dirección BD_ADDR	53
20	Estructura del encabezado	55
21	Estructura del bloque de información	57
22	Comunicación SCO para múltiples esclavos	58
23	Envío de paquetes grandes	60
24	Sesión general de enlace	63
25	Estructura del PDU	64
26	Estructura del paquete L2CAP	67

27	Estructura del paquete PPP	69
28	Pila del protocolo WAP	74
29	Selección de servicios Bluetooth	81
30	Planta de Oficina con interconexión Bluetooth	92
31	Mecanismos de propagación	93
32	Topologías de red	101
33	Dispositivos Bluetooth	105
34	Topología en estrella de conexión a internet	107
35	Red de acceso a Internet	108
36	Acceso a red	109
37	Red para intercambio de datos	110
38	Puente de red	111
39	Suscriptores de servicios de telecomunicaciones	112

TABLAS

I	Comparación entre tecnologías inalámbricas	20
II	Capas del protocolo Bluetooth	48
III	Valores promedio de η	95
IV	Factores de atenuación típicos	97
V	Clases de potencia de dispositivos Bluetooth	104

LISTA DE SÍMBOLOS

Mbps	Megabits por segundo
Kbps	Kilobits por segundo
dB	Decibeles
dBm	Decibeles por miliwatt.
Hz	Hertz (ciclos por segundo)
W	Watt
T	Período
<i>f</i>	Frecuencia
B	Ancho de banda
\$	Dólares estadounidenses
RF	Radiofrecuencia
QoS	Calidad de servicio
EIRP	Potencia efectiva en radiación isotrópica

GLOSARIO

ACL	Tipo de enlace el cual es asíncrono y sin un conectividad real.
BER	Frecuencia de errores en los bit. El BER es el parámetro para medir que tan seguido se dañan los bit en un transmisión ó medio.
BIT	Es el estado lógico 1 ó 0 y representa una posición en la numeración binaria.
BQB	Cuerpos de calificación Bluetooth encargados a nivel mundial de certificar productos Bluetooth que cumplen con las políticas de interoperabilidad establecidas.
BQRB	Plantel de revisores de calificación Bluetooth, es el grupo de personas encargadas de fijar las políticas para la calificación de productos.
Bufers	Dispositivos de almacenamiento que se utilizan de interfase en los puertos de comunicación de los equipos electrónicos.
DCE	Equipo de conexión de datos.

DHSS	Técnica de transmisión en la cual se asigna un canal a ocupar y los bits se multiplican por un código pseudoaleatorio, el cual se conoce en el receptor.
DTE	Equipo Terminal de comunicación
FHSS	Técnica de transmisión en la cual se transmite en un rango de frecuencias, y no únicamente en una frecuencia fija saltado entre las frecuencias de una forma aleatoria.
Frame	Es el intervalo de tiempo en el cual se manda información y se asigna espacio para el envío de datos lo cual se repite en un período de tiempo.
GFSK	Técnica de modulación digital la cual utiliza la frecuencia como base de modulación con la ayuda de un filtro gaussiano.
Half Duplex	Transmisión de información entre dispositivos la cual es bidireccional, es decir puede transferir información en ambos sentidos pero en distintos tiempos.
HDTV	Televisión de alta definición.
IC	Circuito integrado.
Internet	Red mundial pública de datos.

ISM	Banda de frecuencia de 2.4 GHz de uso libre a nivel mundial liberada originalmente para usos médicos, científicos e industriales.
ISO	Organización internacional de estándares, entidad que se encargada de normalizar los procedimientos y tecnologías en general.
ISP	Proveedor de servicios de Internet.
LAN	Red de cobertura ó área local.
LSB	Bit menos significativo, es el bit que se encuentra en la posición de menor valor en un número binario.
MAN	Red de área metropolitana.
MSB	Bit más significativo, es el bit que se encuentra en la posición de mayor valor en un número binario.
OSI	Protocolo de redes creado por ISO para unificar los protocolos de redes que sirvió para en desarrollo de nuevos protocolos.
PAN	Red de cobertura ó área personal.
Piconet	Nombre que se le da a una red Bluetooth formada por un único servidor y sus respectivos esclavos.
PSK	Técnica de modulación digital la cual utiliza el cambio de fase como base de modulación.

PSTN	Red de telefonía pública conmutada.
QPL	Listado de productos Bluetooth que han sido aprobados por el SIG después de haber culminado satisfactoriamente las pruebas del programa de calificación.
Roaming	Capacidad de los dispositivos de poder funcionar en distintas zonas geográficas, a través de la comunicación con distintos nodos de acceso de una forma transparente.
Router	Dispositivo de red encargado de direccionar los paquetes de información en una red.
Scatternet	Unión de 2 ó mas piconet.
SCO	Tipo de enlace que es síncrono y orientado.
SIG	Grupo de interés especial de Bluetooth
Time slots	Intervalos de tiempo definidos que se repiten a cierta frecuencia y están introducidos dentro de una trama ó frame.
UIT	Unión internacional de telecomunicación.
VPN	Es un circuito por el que viaja la información el cual se define previamente. Da la impresión de ser un canal dedicado cuando en realidad es un canal compartido.

WECA	Alianza de compatibilidad de Ethernet inalámbrico
WiFi	Comunicación inalámbrica bajo la norma IEEE 802b. Nombre comercial originado por la fidelidad inalámbrica que representa.
WLAN	Red de cobertura ó área local cuyo acceso es inalámbrico.

RESUMEN

La necesidad de una comunicación inalámbrica para aplicaciones sencillas de intercambio, de datos a nivel personal, ha aumentado, en los últimos años, con el crecimiento masivo del uso de telefonía móvil y la utilización, en menor grado, pero siempre importante, de las agendas electrónicas. Sin embargo, la necesidad de comunicarse de forma inalámbrica se extiende, tanto al área doméstica como al área industrial, por lo que existe una diversidad de opciones de tecnologías y protocolos para dicho fin. En el capítulo 1 se muestran las características básicas de Bluetooth y se muestran otras distintas opciones de tecnologías que pudieran ser competencia de Bluetooth.

Un protocolo, en general, está definido por las características de su arquitectura, para lo cual, en el capítulo 4 se comienza definiendo el modelo de referencia OSI, el cual sirve como un estándar de referencia para el desarrollo de nuevos protocolos. A lo largo del capítulo se define la arquitectura de Bluetooth como una pila formada por distintas capas, en donde se define cada una de éstas capas y su interacción con las capas subsecuentes, de tal forma que al final del capítulo se tiene conocimiento amplio del funcionamiento del protocolo.

Después de comprender el funcionamiento de Bluetooth, es importante poder determinar qué se puede hacer con Bluetooth, y, si bien es cierto, en el capítulo 1 se mostraron las aplicaciones desde un punto de vista comercial, basándose en las aplicaciones que, actualmente, existen, es importante definir a nivel de protocolo que es lo que está o no permitido hacer.

Para poder definir qué es lo que está o no permitido a nivel técnico con Bluetooth, es importante definir los perfiles que el protocolo presenta y es por ello que en el capítulo 3 se muestran los perfiles que el protocolo tiene y en base a ellos se podrá diseñar las aplicaciones que sean necesarias.

En el capítulo 4 se muestra el diseño propuesto para una red de computadoras de una oficina moderna pequeña y se fijan las bases para el diseño de redes de datos con el protocolo Bluetooth.

Por último en el capítulo 4 se muestran las condiciones actuales en Guatemala, tanto de mercado como a nivel técnico, por el uso de la banda de frecuencia en la cual trabaja Bluetooth.

OBJETIVOS

General

Mostrar todos los requerimientos que el protocolo Bluetooth necesita para su perfecto funcionamiento y, así, preparar el terreno para facilitar la implementación de dicho protocolo en Guatemala y mostrar una opción confiable, segura y económica para la conexión de dispositivos inalámbricos.

Específicos

1. Resaltar las ventajas y limitaciones de la utilización del protocolo Bluetooth en Guatemala.
2. Mostrar las características técnicas del funcionamiento de Bluetooth.
3. Mostrar lo necesario para realizar una transmisión de datos con el protocolo Bluetooth.
4. Diseñar una red con el sistema Bluetooth

INTRODUCCIÓN

En algunos casos es necesario eliminar los cables de comunicación entre dispositivos y, para ello, se han hecho innumerables esfuerzos con el fin de eliminar la comunicación a través de cables por un sistema de comunicación inalámbrico eficiente. Bluetooth es un protocolo que, recientemente, ha sido desarrollado por la empresa Ericsson para la conexión de dispositivos de forma inalámbrica. Este es un sistema de comunicación a través de radiofrecuencias, por lo que es bastante eficiente, seguro y que ha demostrado ser confiable.

Inicialmente, dicho proyecto se desarrolló para eliminar las molestas conexiones de cables que uno, normalmente, encuentra en la PC, pero es un arma tan poderosa con la que en el último año se le han desarrollado diversas aplicaciones, entre las que podemos mencionar el acceso a internet a través de un celular mediante dicho protocolo.

Una de las ventajas de dicho protocolo es que ya es reconocido a nivel internacional, en Europa uno puede moverse a través de los distintos países y poder usar esta tecnología libremente, ya que, trabaja en la banda de uso libre de 2.4 GHz, la cual es conocida como la banda Industrial, Científica y Médica, ISM por sus siglas en inglés, la cual es utilizada en múltiples operaciones locales como puertas automáticas, cámaras de seguridad, etc.; esto, a su vez, convierte el sistema de comunicación en un sistema bastante económico porque lo único que se necesita para comunicar dos dispositivos es la energía que se consume y no hay que pagar por un servicio.

Otra ventaja radica en que dicho sistema de comunicación tiene un buen radio de comunicación que puede variar de los 10 m, para los dispositivos comunes, hasta los 100 m de alcance para los dispositivos de mayor potencia.

Existen ciertas condiciones para que Bluetooth pueda trabajar sin problemas, como pueden ser el ancho de banda, la frecuencia de operación, los niveles de potencia de la señal, etc., y, es por ello que para que la implementación de dicho protocolo sea exitosa en Guatemala se presenten las condiciones necesarias para el perfecto funcionamiento de éste. Las ventajas obtenidas por la implementación de dicho sistema serían grandes, e irían desde aplicaciones sencillas como la conexión de dispositivos a la computadora hasta aplicaciones grandes como la adquisición de datos en tiempo real que son tan importantes en sistemas de automatización y control de procesos.

1. INTRODUCCIÓN A BLUETOOTH

1.1. ¿Que es *Bluetooth*?

Es un sistema de comunicación inalámbrico de corto alcance para la transmisión de datos entre dispositivos móviles, el cual se comunica a través de radiofrecuencia. La tecnología *Bluetooth* fue desarrollada originalmente en 1994 por la compañía Ericsson con el fin de reemplazar los cables que conectan a los teléfonos celulares con un sistema inalámbrico; más adelante otras compañías se unieron a Ericsson para formar lo que actualmente se conoce como SIG y aumentar la cantidad de aplicaciones que actualmente se encuentran en el mercado. El por qué de su nombre no tiene relación alguna con los sistemas de comunicación, sino es por sus aplicaciones; Harald Bluetooth fue un monarca Vikingo del siglo X quien luchó por unir Dinamarca y Noruega y debido a que el objetivo de la utilización de *Bluetooth* es unificar la conexión inalámbrica de dispositivo hacia la computadora, se decidió adoptar este nombre en honor a dicho monarca.

Este protocolo posee la ventaja, por ser un sistema de radio, de tener varios usuarios desde un mismo punto de comunicación y que ellos no se interfieran entre sí. Además está diseñado para ser un sistema inalámbrico, económico, ya que trabaja en la banda de frecuencia de 2.4 GHz, la cual es conocida como banda ISM, y es de uso libre a nivel internacional. Entre las características más importantes que posee este sistema podemos enumerar las siguientes

1. Utiliza la tecnología de Espectro Ensanchado y Saltos de Frecuencia (FHSS).
2. Puede tener hasta 3 canales de voz por piconet..
3. Una transmisión de datos hasta de 721 kbps por piconet.

4. Un rango de alcance de 10 metros para dispositivos comunes y de 100 metros para dispositivos especiales.
5. Pueden conectarse hasta 8 dispositivos por piconet y hasta 10 piconets.
6. Bluetooth minimiza la interferencia potencial al emplear saltos rápidos en frecuencia 1600 veces/segundo.
7. Utiliza una modulación GFSK (*Gaussian Frequency Shift Keying*).
8. Aceptado por la IEEE 802.15.1.

1.2 La Banda ISM, la UIT y la FCC

Según la definición de la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) se conoce como espectro radioeléctrico a toda aquella onda electromagnética cuya frecuencia es menor a los 3,000 GHz y que se propaga a través del espacio de forma libre, es decir sin ninguna guía artificial ó medio distinto al espacio libre. La UIT es un ente internacional Europeo que se encarga de establecer normas técnicas en materia de Telecomunicaciones referentes a niveles de potencia, características y protocolos, interferencia y compatibilidad de sistemas tanto para comunicaciones fijas como móviles e inclusive para las comunicaciones vía Satélite.

Por otro lado existe la FCC en Estados Unidos que es la Comisión Federal de Comunicaciones quien se encarga de establecer las normas técnicas en materia de telecomunicaciones par la región de Estados Unidos.

En Guatemala el ente regulatorio en materia de telecomunicaciones es la Superintendencia de Telecomunicaciones SIT. La SIT ha fijado sus normas técnicas en base a las normas establecidas por la UIT por lo que para cualquier caso de diseño o utilización de cualquier tecnología a nivel local deberá apegarse a estas normas, es por esta razón que muchas de las tecnologías que se utilizan a nivel de telecomunicaciones tiene una influencia notable europea como es la implementación de los servicios de telefonía móvil GSM y el no crecimiento de tecnologías de influencia norteamericana como la CDMA2000, dejando por un lado las diferencias de costos para su implementación.

Sin embargo por la cercanía geográfica de Guatemala con Estados Unidos la influencia real es de Norteamérica por lo tanto es importante la regulación de la FCC. La FCC permite la venta de dispositivos únicamente si han pasado por una serie de pruebas en dado caso dan un número de aprobación FCC. La mayoría de los productos vendidos en Guatemala son importados de Norteamérica por lo que se rigen por las normas de la FCC.

De cualquier forma tanto al UIT como la FCC tiene un rango dentro del espectro radioeléctrico el cual es de uso libre. Los rangos de frecuencia que aplican en la mayoría de los casos son las siguientes:

1. 902 MHz a 928 MHz
2. 4000 GHz a 2.4835 GHz
3. 5.725 GHz a 5.875 GHz

De las bandas anteriores la que se ha estandarizado a lo largo del mundo como una frecuencia de libre utilización es la banda de 2.4 GHz la cual se conoce con el nombre ISM ya que se utilizó en principio para la comunicación de equipo Industrial, Científico y Médico (*Industrial Scientific and Medical*).

Actualmente la banda ISM es utilizada para cualquier comunicación, pero para que las diferentes aplicaciones puedan funcionar sin entrar en conflicto de interferencia se definió que su utilización es a nivel local por lo que se normó tanto los niveles de potencia como la tecnología utilizada para la comunicación en esta banda.

Las normas FCC para la banda ISM aparecen en el código federal de regulaciones bajo el título 47 en la parte 15 en la sección 247 que tiene por título *Operación con las bandas 902-928 MHz, 2400-2483.5 MHz, y 5725-5850 MHz.*, de lo cual se puede mencionar los siguientes puntos importantes relativos a la técnica FHSS que utiliza Bluetooth:

1. Potencia máxima de transmisión de 1 W o no mas de 4 W EIRP usando ganancia en la antena.
2. Por lo menos 75 canales para saltos de frecuencia
3. Un ancho de banda máximo de -20dB para 1 MHz.
4. Separación de los canales de salto de frecuencia por lo menos de saltos de ancho de banda de -20 dB, pero no menores de 25 kHz
5. Frecuencia de saltos de por lo menos 2.5 por segundo.
6. Bluetooth permite una potencia de transmisión máxima de 100 mW, esto es para mantener una potencia de transmisión baja.

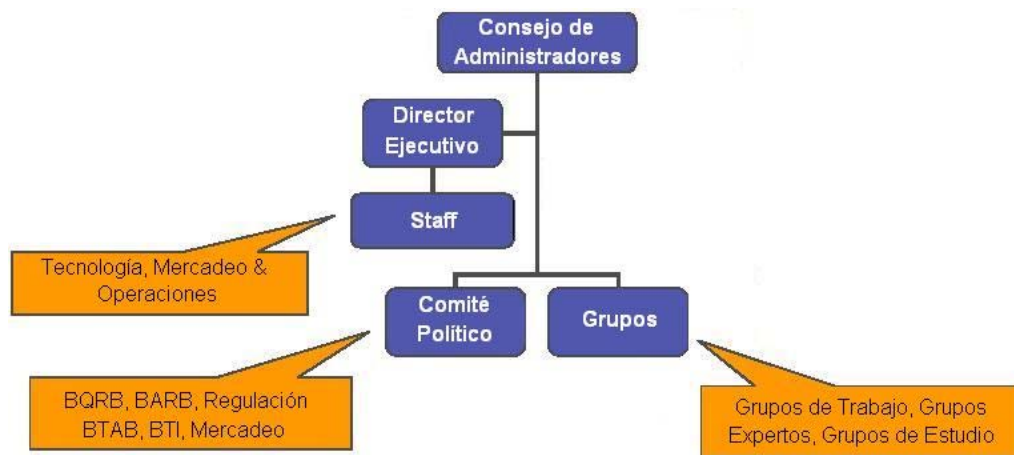
1.3 EI SIG

Para la perfecta interoperabilidad del sistema a través del mundo, era necesaria la participación de muchas otras compañías además de Ericsson, y fue así como en 1998 se fundó el primer Grupo de Interés Especial en Bluetooth (SIG) formado por las empresas Ericsson, IBM, Intel, Nokia y Toshiba. En 1999 el SIG se asoció con las empresas Agere, Microsoft y Motorola; y a estas 9 empresas se les conoce como Promotores del SIG.

La misión del SIG es: Desarrollar, publicar y promover la especificación inalámbrica de corto alcance preferida para la conexión de productos móviles, y administrar un programa de certificación que permita la interoperabilidad para una experiencia positiva del usuario. (2. Bluetooth SIG Overview)

En la figura 1 se muestra el organigrama de la organización interna que existe en el SIG.

Figura 1 – Organigrama del SIG



El SIG está encabezado por un Consejo de Administradores el cual está formado por miembros de las empresas promotoras del protocolo. Ellos son los que guían el direccionamiento adecuado del grupo. Bajo ellos existen principalmente 3 divisiones dentro del SIG, El Director ejecutivo, el Comité Político y los Grupos.

El director ejecutivo es la persona que se encarga de la ubicación adecuada de Bluetooth en el mercado, tanto a nivel de Mercadeo como mantenerse a la vanguardia de la tecnología a través de operaciones y estrategias de mercado y gracias a la interacción existente entre éste y los grupos.

El comité político es el formado para la autenticación de Productos Bluetooth quien se encarga de garantizar la interoperabilidad de los dispositivos Bluetooth. Y los grupos que son aquellos formados en torno a Bluetooth como los grupos de trabajo del SIG, los grupos de expertos y los grupos de Estudio.

Existen 3 clases de miembros del SIG:

1. Miembros Promotores: Los miembros promotores son Agere, Ericsson, IBM, Microsoft, Motorola Nokia y Toshiba. Estas son empresas que tienen un compromiso alto en el desarrollo técnico y estratégico de Bluetooth. Miembros promotores solamente pueden ser los anteriormente descritos, no hay forma de ser miembro promotor.

2. Miembros Asociados: Los miembros asociados son aquellos que están interesados en el uso de la marca Bluetooth y por lo tanto tienen acceso a las especificaciones técnicas de todo lo desarrollado por el SIG. Tienen acceso a grupos en el SIG para tratar de influenciar sobre decisiones futuras sobre dicho protocolo.

Para ser miembro Asociado se debe de pagar una cantidad por la membresía equivalente a \$35000 anuales para empresas cuyo ingreso es mayor de \$100 millones de dólares y la suma de \$7500 para aquellas empresas cuyos ingresos son menores a \$100 millones de dólares.

3. Miembros Adoptados: Esta es una membresía de bajo acceso para todas aquellas personas que están interesadas en el protocolo a bajo nivel y desean conocer más sobre dicho protocolo. Con ella se puede acceder a las especificaciones básicas del protocolo.

1.3.1 Autenticación de productos

La autenticación de productos Bluetooth es el proceso de certificación requerido para cualquier producto para el uso de la tecnología inalámbrica Bluetooth. El SIG hace distinción entre dos clases de productos, un primero que es el Producto final Bluetooth, un segundo tipo que son los subsistemas Bluetooth y un tercer tipo que son las herramienta Bluetooth.

El primero de ellos es aquel producto independiente destinado al usuario final en el cual su uso con otros dispositivos Bluetooth es independiente, el segundo caso son aquellos productos que dependen y son complementarios a otros productos, por ejemplo una tarjeta para PC, ésta será dependiente y complementaria al sistema operativo de la máquina por lo que no es autónoma y es complemento al sistema de transmisión de datos de la PC. Para ambos productos el SIG establece ciertas características o perfiles que son obligatorios y establecidos y ciertos que son flexibles, esto es para mantener una interoperabilidad entre todos los productos.

Para verificar el cumplimiento de dichos perfiles todos los productos deben de pasar por una serie de pruebas para obtener el permiso del uso de la tecnología Bluetooth; Aquellos productos que han pasado ya por dichas pruebas pasan a ser parte de la QPL (*Qualified Product List*) ó Lista de productos Calificados, dicha lista es de ayuda para desarrollar nuevas aplicaciones Bluetooth como productos formados por una serie de componentes Bluetooth previamente calificados lo cual es de mucha ayuda en el diseño de nuevas aplicaciones.

El tercer grupo de productos Bluetooth son aquellos desarrollados para el estudio, prueba ó desarrollo de la tecnología Bluetooth los cuales pueden funcionar pero no necesitan una interoperabilidad entre otros sistemas, entre estos están aquellas tarjetas de estudio de tecnología ó de medición de intensidad de señal y alcance del dispositivos, por tal motivo no necesitan pasar por las pruebas a las que son sometidos los demás productos. Estos dispositivos se encuentran listados como productos Bluetooth de desarrollo por el SIG.

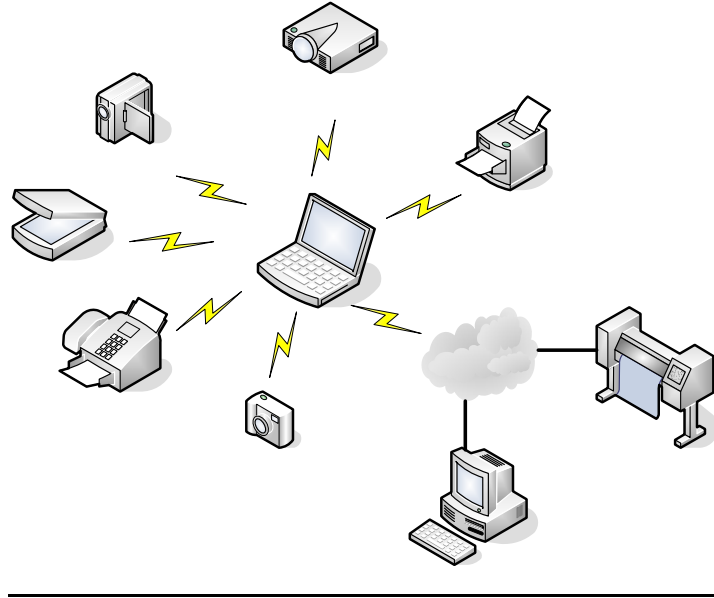
Los listados de productos pueden ser modificados únicamente por los cuerpos de calificación Bluetooth BQB (por sus siglas en inglés *Bluetooth Qualification Bodies*) los cuales se encuentra en varios países del mundo y pueden probar, verificar y calificar un producto para ingresarlo en los listados. Las políticas de certificación de productos Bluetooth son desarrolladas pro el BQRB (*Bluetooth Qualification Review Bord*) ó Plantel de Revisores de Calificación Bluetooth.

1.4 ¿Que se puede hacer con Bluetooth?

Bluetooth es un tecnología de acceso inalámbrico, por que son incontables las aplicaciones que se pueden obtener de ella; Sin embargo nos enfocaremos en las principales aplicaciones más sobresalientes en países extranjeros, las cuales se espera sean las mismas en Guatemala. A continuación se da una descripción general de algunas de ellas.

1.4.1 Transferencia de datos y objetos entre dispositivos

Figura 2 – Comunicación Bluetooth para intercambio de datos



Sin lugar a dudas ésta aplicación es donde Bluetooth alcanza su máxima expresión, de hecho fue la razón por la cual Ericsson inició sus investigaciones tratando de eliminar los cables existentes entre la CPU de una computadora.

Dispositivos se refieren a todos aquellos aparatos electrónicos que forma parte de una red personal ó PAN, entre los cuales existe una necesidad constante de comunicación, pero no continua, en la cual se transmiten datos, como mensajes de texto, recordatorio de eventos, configuraciones de los dispositivos personales, etc, y también objetos, como imágenes de adorno, sonidos preferenciales, etc.

1.4.2 *Handsfree* inalámbricos

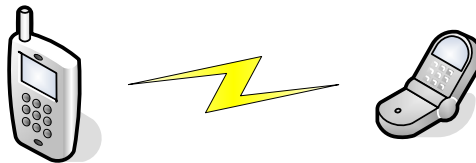
Figura 3 - *Handsfree* Bluetooth



Definitivamente ésta es la aplicación que más le interesa al mercado Guatemalteco, ya que actualmente muchas personas utilizan por largos períodos el teléfono celular y estar sosteniendo un aparato es suplantado por un *handsfree*, pero en muchas ocasiones el cable desde el teléfono celular hasta el iodo se vuelve estorboso. La opción de un *hadnsfree* inalámbrico es muy conveniente y la tecnología Bluetooth por sus bajos costos y por su ventaja de interoperabilidad ha atraído al mercado Guatemalteco. Actualmente se encuentran en el mercado varios teléfonos celulares que cuentan con esta tecnología lo que ha facilitado su introducción al mercado.

1.4.3 Conexión directa entre teléfonos

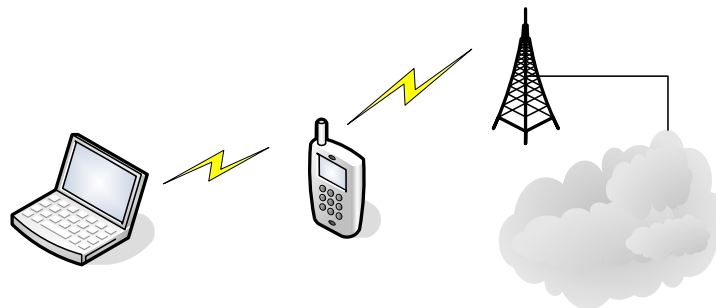
Figura 4 - Comunicación Bluetooth entre celulares



Actualmente la telefonía celular a tenido grandes avances, y con ello se ha creado una necesidad de comunicación entre celulares, ya sea para transferencia de pequeños archivos de datos para celulares como para transmisión de voz, inclusive a corta distancia. Un ejemplo de esto son los tipos de timbres telefónicos, más conocidos como *ring-tones*, los cuales definen cada vez mejor la personalidad del dueño del dispositivo y también es muy útil para reconocer el propio. Con Bluetooth podemos comunicarnos entre teléfonos celulares sin la necesidad de tener que pagar por una transferencia de datos o un enlace a un operador de servicio de telefonía celular. Además, con la ayuda de repetidores, y en algunos celulares ya vienen con dispositivos especiales, podemos llegar a comunicarnos en un rango de hasta 100 metros.

1.4.4 Celular como puente de internet

Figura 5 - Conexión Bluetooth a internet

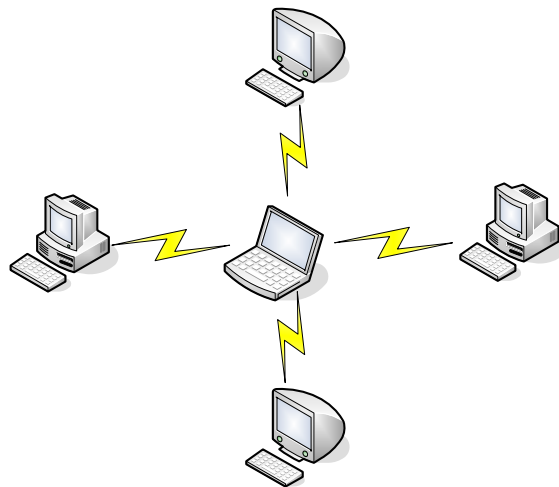


El acceso a Internet se ha convertido para algunas personas en una necesidad de la cual no pueden prescindir. Por otro lado la PTSN (Red conmutada de telefonía pública) no tiene tanto alcance como una red celular, por lo cuál el rango de cobertura de internet a través de una red celular resulta ser mayor que el rango de cobertura de una PTSN. Con el uso de Bluetooth podemos transferir datos desde nuestro celular a la PC y en ese momento hemos establecido comunicación con un servidor de Internet, podemos acceder a dicha red desde nuestra PC utilizando el teléfono celular y Bluetooth como puente hacia el Internet.

La principal desventaja en esto es que es una conexión por discado (más conocida como *dialing-up* a pesar que los teléfonos ya no se comunican por discado, sino digitalmente por tonos, se sigue utilizando mundialmente éste término) y por lo tanto es de baja velocidad, y si a esto le sumamos las pérdidas del medio inalámbrico, lo convierte en un servicio demasiado lento, que solamente serviría en casos de extrema necesidad.

1.4.5 Punto de acceso de datos

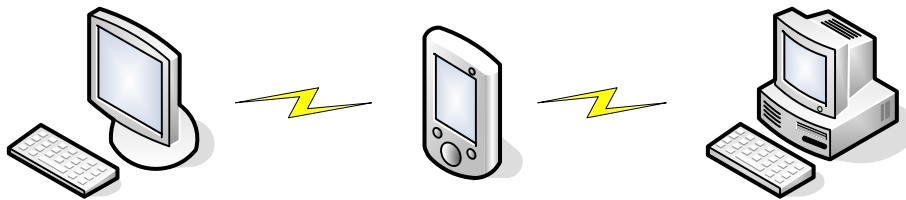
Figura 6 – Red de datos Bluetooth



El acceso a una LAN a través de cables es poco vistoso y antiestético en algunos casos, pero en otros casos independientemente de esto es molesto y estorboso, como pudiera ser el caso de una computadora portátil en donde continuamente se traslada de lugar a lugar la computadora y no se puede tener una conexión fija a través de cables. En estos casos el acceso a la red de una forma inalámbrica es casi vital y con Bluetooth podemos realizar una conexión de datos entre una o varias computadoras para acceder o crear una LAN. En este caso existen ciertas limitaciones, como por ejemplo la distancia máxima a la que se puede acceder y la velocidad de transferencia de datos que son mucho menores a las obtenidas a través de cables o a través de otras tecnologías como Wi-Fi e infrarrojo.

1.4.6 Actualización de agenda electrónica

Figura 7 - Conexión Bluetooth para agendas electrónicas



La utilización de agendas electrónicas ha aumentado en los últimos años y actualmente muchas personas cuenta con agendas que llevan consigo casi a cualquier lugar, por lo tanto les interesa programar en ellas tanto actividades personales como actividades laborales.

Generalmente dichas personas cuentan con una PC en la casa y con una PC en la oficina y en muchas ocasiones necesitan actualizar datos de la agenda electrónica en ambas parte. Por la comodidad de no tener una conexión física en cada punto es sumamente útil la conexión inalámbrica y con software especializado se puede programar para que en el momento de detectar a la agenda electrónica en las cercanías de la PC actualice las tareas de la agenda automáticamente. De esta forma uno puede contar con una agenda actualizada tanto en la casa como en el trabajo con el simple hecho de desplazarse en las cercanías de la PC.

1.4.7 Tarjetas de presentación y publicidad

Una de las aplicaciones más novedosas desarrolladas actualmente para el uso de Bluetooth es la transferencia de información de negocios. La forma tradicional de hacer un contacto con una persona nueva es intercambiando tarjetas de presentación que muchas veces se pierden ó no se encuentran en el momento necesario de localizar a un contacto. Con la tecnología Bluetooth uno intercambiaría la tarjeta de presentación virtual ó mejor dicho el contacto entre dos dispositivos que cuenten con dicha tecnología, entre esto pudiera ser un teléfono celular y una agenda electrónica que seguramente uno no extraviará y la tendrá al alcance en el momento de necesitar localizar al mencionado contacto.

Siguiendo en la misma línea, cuando uno ve una publicidad que es de interés en una pancarta o afiche en la calle y uno se encuentra interesado realmente en dicha publicidad tiene uno la opción de copiar el contacto de alguna forma más sin embargo no puede llevarse dicho afiche para una futura ocasión de interés. Se ha desarrollado un circuito integrado con transmisión Bluetooth que envía a los interesados el afiche.

Este IC se instala en el afiche y cuando uno está interesado en dicho afiche da autorización para que dicho afiche se descargue en el dispositivo de almacenamiento que uno pudiera llevar consigo, este pudiera ser un teléfono celular ó una agenda electrónica.

1.5 Bluetooth vrs. otras tecnologías

1.5.1 Infrarrojo

Este medio de transmisión es ampliamente usado en la comunicación de corto rango, por ejemplo, controles remotos de televisores, VCRs, etc. Son relativamente direccionales, baratos, y fáciles de construir, pero su mayor inconveniente es que no atraviesan objetos sólidos. Por otro lado, el hecho que las ondas infrarrojas no atraviesen paredes sólidas también es una ventaja significa que un sistema infrarrojo en un cuarto de un edificio no interferirá con un sistema similar en oficinas adyacentes. Además, la seguridad de sistemas infrarrojos es mejor que el de sistemas de radio debido a que la información se direcciona y transmite exclusivamente al destino final. Por todo esto, ninguna licencia gubernamental se necesita para operar un sistema infrarrojo, en contraste con sistemas de radio que deben ser autorizados. Es importante aclarar que el infrarrojo no es un sistema *broadcast* ni es una tecnología para redes ya que el infrarrojo fue diseñado para conexiones punto a punto pero por otro lado se tiene la ventaja que puede llegar a alcanzar velocidades mayores de transmisión que Bluetooth por lo que en algunos casos puede ser una ventaja sobre otras tecnologías.

Específicamente para transmisión de datos se desarrollada la Asociación de datos infrarrojos ó IrDa, la cual establece el estándar y protocolo de infrarrojo. Dicho protocolo puede alcanzar velocidades de hasta 16 Mbps. Este protocolo utiliza un técnica de modulación FSK.

1.5.2 HomeRF

Existe otra tecnología que proporciona interconexión entre productos electrónicos de consumo dentro del hogar, para diferentes aplicaciones. Utiliza también la banda ISM de 2.4 GHz. Esta tecnología tiene su mayor expresión en equipo electrónico para el hogar como son los videos, electrodomésticos, dispositivos de seguridad, intercomunicadores, teléfonos inalámbricos con un rango de distancia que puede alcanzar hasta 50 mts.

Al igual que Bluetooth, Home RF utiliza salto en frecuencia para evitar interferencias, admite la comunicación de datos hasta 2 Mbps. Permite conectar hasta un total de 127 dispositivos. Soporta comunicación de voz y datos, permitiendo hasta 6 conversaciones.

El grupo de trabajo (HRFWG) formado en 1998 por compañías como Compaq, Ericsson, HP, IBM, Intel, Microsoft, y Motorola han desarrollado el protocolo SWAP (Shared Gíreles Access Protocol) basado en el estándar IEEE 802.11 para datos y en DECT para voz. Por lo que SWAP puede soportar protocolos TCP/IP en redes domésticas.

1.5.3 IEEE 802

Sin duda es el más popular actualmente entre las tecnologías de acceso inalámbrico y al igual que Bluetooth utiliza la banda ISM de 2.4 GHz por lo que para muchos es el principal competidor de Bluetooth. Este estándar fue establecido en 1997 como e primer estándar para WLAN.

Este estándar tiene principalmente 3 medios físicos ó modulaciones de comunicación: DSSS y FHSS a través de RF y DFIR (Infrarrojo difuso) como opción óptica. El éxito de dicho estándar radica en la similitud funcional de una red cableada con una red inalámbrica 802 sumándole la ventaja de movilidad que la comunicación inalámbrica conlleva.

Después que el estándar fue desarrollado nuevas versiones de dicho estándar fueron creadas, las cuales se diferencian de la siguiente forma:

1. 802.11a Desarrollada para velocidades de 54 Mbps para ser utilizada en la frecuencias 5.1 a 5.8 GHz. Se utilizó este ancho de banda debido a que en Estados Unidos dicha frecuencia es de uso libre. Esta versión recientemente empezó a ser popular debido a la gran demanda de la versión b los dispositivos inalámbricos comenzaron a ser de bajo costo y la velocidad alta de 54 Mbps es ideal para llevar señales de HDTV.
2. 802.11b Desarrollada para incrementos de velocidad de 5.5 a 11 Mbps mientras se está ocupando el mismo canal de comunicación. Utiliza una técnica de modulación DSSS en la banda ISM de 2.4 GHz. Sin duda la versión más popular del estándar IEEE 802, su éxito radica en la interoperabilidad existente entre los distintos proveedores de equipo de redes.

La interoperabilidad entre las distintas marcas se dio gracias a la Alianza de Compatibilidad de Ethernet inalámbrico WECA. Dicha alianza creó el nombre comercial Wi-Fi que resaltan la alta Fidelidad Inalámbrica de dicho estándar.

3. 802.11e Desarrollado para aplicaciones en donde la latencia es más importante que la integridad del mensaje como por ejemplo voz bidireccional.
4. 802.11f Desarrollado para estandarizar los procedimientos de roaming entre los distintos puntos de acceso inalámbricos.

5. 802.11g Desarrollado para aumentar la velocidad de transferencia de datos a 54 Mbps en la banda ISM de 2.4 GHz. Esta versión perdió popularidad rápidamente debido a regulaciones de niveles de potencia en Estados Unidos que impidieron su pleno desarrollo.
6. 802.11h Se trabajó para añadir control de potencia y una selección dinámica de frecuencia al estándar 802.11a para su uso en Europa.
7. 802.11i Desarrollado para manejar las debilidades de seguridad posibles de los estándares anteriores.

1.4.5 ZigBee

Es una nueva tecnología de comunicación inalámbrica la cual básicamente es una mezcla entre HomeRF y Bluetooth. Esta tecnología fue aprobada por la IEEE bajo la norma 802.15.4 por su similitud con Bluetooth. De acá podemos observar que es una tecnología inalámbrica la cual compite con Bluetooth.

Este protocolo trabaja en la banda ISM pero puede trabajar también en la banda de 915 MHz y en la banda de 868-868.6 MHz, la cual es otra frecuencia libre en Estados Unidos, y opera a velocidades de 250 Kbps, 40 Kbps y 20 Kbps a cada velocidad respectivamente. La técnica de modulación utilizada por Zigbee es PSK tanto BPSK como QPSK. Utiliza al igual que Wi-Fi Secuencia Directa. El rango de cobertura es de 30 m.

El probable éxito de ZigBee puede radicar en la intención de sus fundadores como Philips y Honeywell and Invensys Metering Systems es desarrollar un protocolo de uso libre y de bajo costo. Uno de los principales mercados con el cual Honeywell desarrolló dicho protocolo fue la industria, sin embargo el crecimiento comercial está enfocado hacia aplicaciones primariamente caseras.

1.5.5 Comparación de tecnologías

Según los datos expresados anteriormente se muestra una pequeña comparación de los puntos importantes de cada tecnología a través de la tabla I.

Tabla I – Comparación entre tecnologías Inalámbricas

Característica	Bluetooth	Infrarrojo	HomeRF	802.11	ZigBee
Banda de frecuencia	ISM. 2.4 GHz	Infrarrojo	ISM 2.4 GHz	ISM 2.4 GHz, 5.1 a 5.8 GHz	ISM 2.4 GHz, 915 MHz, 868-868.6 MHz.
Max. Velocidad de transmisión	1 Mbps	16 Mbps	2Mbps	54 Mbps (a) 11 Mbps (b)	250 Kbps, 40 Kbps, 20Kbps
Modulación	GFSK	N/A	BFSK, QPSK	BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM	BPSK, QPSK.
Cobertura	10mts	10mts	50mts	100mts	30mts
Costo	Bajo	Medio Bajo	Medio	Medio Alto	Bajo
Potencia consumida	Baja	Media	Media	Alta	Baja
Aplicación	PAN	PAN	Hogar	LAN	PAN

1.6 Conceptos básicos

1.6.1 Espectro ensachado (Spread Spectrum)

Esta es una técnica en la cual se toma una señal, que ya ha sido modulada (para este caso GFSK), y se modula una segunda vez de tal forma que produce una señal que apenas interfiere con otras que operan en la misma banda de frecuencia; por dicho motivo se dice que existe una interferencia transparente en este tipo de modulación. Hay dos ventajas principales al utilizar esta técnica, la primera es que al ser pequeña la señal en cada banda de frecuencia y al estar esparcida en varias bandas de frecuencias, no puede ser interferida por un usuario no autorizado; La segunda ventaja es que al haber una pequeña cantidad de potencia en cada banda de frecuencia, permite tener una mayor cantidad de usuarios para la misma cantidad de bandas de frecuencias.

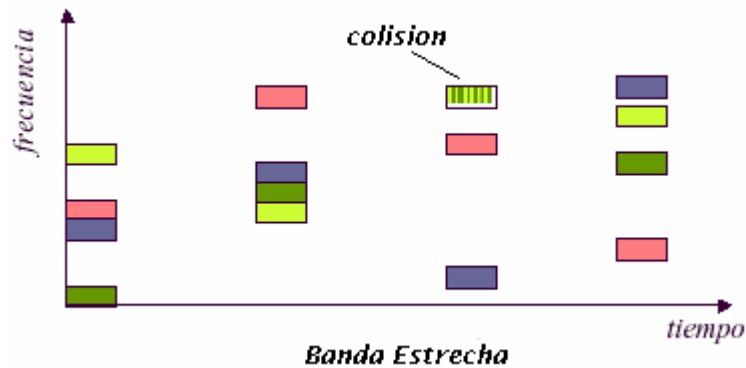
Dos formas por las cuales se puede ensanchar el espectro y recuperar la señal en el receptor de una segura y eficiente. La primera es codificando la frecuencia de trabajo con una señal pseudoaleatoria y es conocida como FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum). La segunda es codificar la información con una señal pseudoaleatoria, lo cual vuelve el sistema más seguro y por lo tanto mucho más compleja; esta técnica es conocida como DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum).

1.6.1.1 FHSS

FHSS es una técnica de transmisión de radiofrecuencia, en la cual se transmite en un rango de frecuencias, y no únicamente en una frecuencia fija; es por ello que pareciera ser que la señal se esparce en una serie de frecuencias ó como se su nombre lo dice, el espectro se ensancha.

Tanto el transmisor como el receptor utilizan una frecuencia para un instante de tiempo dado, el cual es acordado entre ambos y es un número aleatorio que responde a un algoritmo único, que posee tanto el transmisor como el receptor. Es de esperarse que eventualmente más de un usuario utilicen la misma frecuencia en el mismo intervalo de tiempo, lo que produce colisiones y pérdida de información; es importante aclarar que la información pérdida por dichas colisiones se ve compensada con lo que se gana en dicho sistema.

Figura 8 – Saltos de Frecuencia



Básicamente, existen dos tipos de FHSS: el de banda estrecha y el de banda ancha. En el de banda estrecha, el cambio o salto de frecuencia se produce después de una pequeña trama de bits; mientras que en el de banda ancha el salto de frecuencia se produce varias veces para un mismo bit.

Una comunicación FHSS es programada para operar en cierto rango de frecuencias previamente determinado, lo que se conoce como rango de canales. Para Bluetooth, el rango de canales consiste en las frecuencias portadoras

$$f_c = 2,402 + kMHz; k = 0,1,\dots,78$$

Por lo tanto existen 79 posibles frecuencias en el rango de canales, cada una separada en el rango de frecuencias de 2.402 hasta 2,480 MHz. La secuencia la establece el generador de código pseudoaleatorio la cual se repite cada cierto número de saltos el cual no puede ser menor al número de canales pero puede ser mucho mayor que éste. El período del salto de frecuencia durante una comunicación de piconet normal es de 2^{27} por lo que a una frecuencia de 1,600 saltos por segundo el patrón se repetirá después de aproximadamente 23.3 horas.

Existe la posibilidad que varios dispositivos que utilizan la técnica FHSS estén transmitiendo en la misma zona. En teoría no debe de existir interferencia ya que la probabilidad que coincida un paquete en frecuencia y tiempo simultáneamente con otro debe ser baja debido a que se tienen 29 canales y la frecuencia de cambio de canal es de 1,600 saltos por segundo; sin embargo la probabilidad existe y es razonable que sea dependiente de la cantidad de dispositivos existentes e inversamente proporcional a la cantidad de canales existentes (por ser probabilidad de error). Robert Morrow en su libro plantea la siguiente fórmula, la cual cumple con lo supuesto anteriormente

$$P_E = 1 - \left(1 - \frac{1}{M}\right)^{K-1}$$

En donde M define la cantidad de canales disponibles en la transmisión K define la cantidad de dispositivos que utilizan. Graficando en Matemática dicha fórmula para 200 usuarios vemos que alrededor de los 200 usuarios es casi seguro que exista error.

Figura 9 – Gráfica de 200 usuarios simultáneos

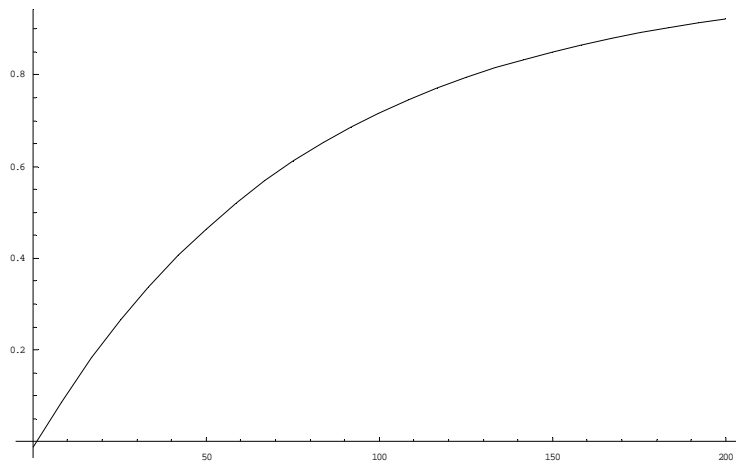
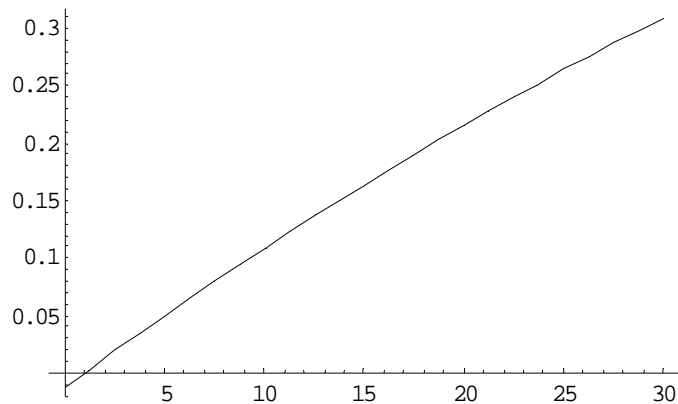


Figura 10 – Gráfica de 30 usuarios simultáneos



Como podemos observar en la gráfica para 30 usuarios el aumento parece ser lineal y alcanza hasta un valor de 0.3. No se espera que existan más de 5 dispositivos para una red PAN por lo que la probabilidad cuando $K = 5$ es de 0.0617 lo cual en realidad es bajo y se esperaría fuera imperceptible a una velocidad de 1600 saltos por segundo.

1.6.1.2 DSSS

DSSS es la segunda técnica existente para ensanchar el espectro, sin embargo para fines de ésta tesis no es de nuestro interés profundizar en dicho tema por lo que daremos una breve explicación del funcionamiento de esta técnica.

Al igual que en el caso de FHSS es una técnica de CDMA pero en este caso se comienza asignando un canal a ocupara lo cual se define dependiendo del código pseudoaleatorio existente entre el transmisor y el receptor, lo cual se establece al inicio de la sesión y se fija para el resto de la comunicación.

En este caso cada bit transmitido es multiplicado por una secuencia pseudoaleatoria con el fin codificar la información, ensanchar el espectro y permitir un mejor rechazo a los desvanecimientos de la señal en bandas estrechas del espectro.

Mientras FHSS es una tecnología para utilizar con modulación en frecuencia, DSSS es una tecnología que alcanza su máxima expresión al lado de una modulación en amplitud ASK.

1.6.2 Modulación GFSK

GFSK es una técnica de modulación digital la cual utiliza la frecuencia como base de modulación. Esta técnica es más conocida como FSK con filtro gaussiano por lo que se empezará explicando la modulación FSK y se terminará con el efecto de la adición de un filtro Gaussiano.

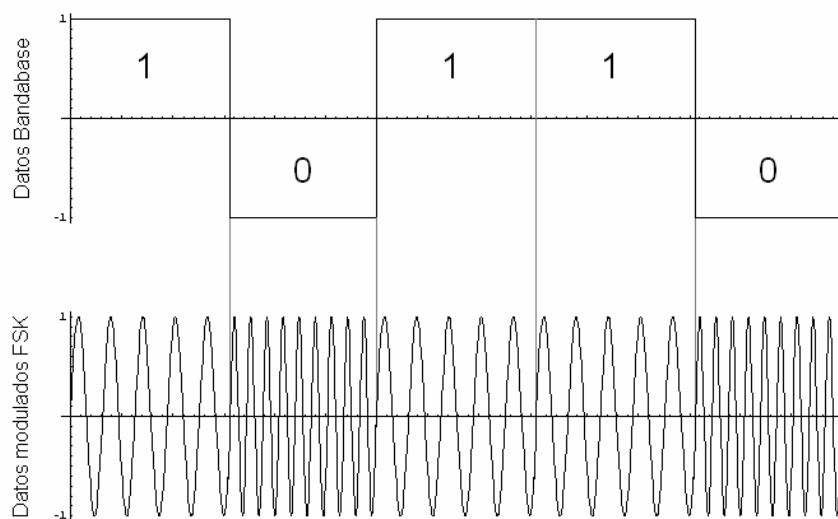
1.6.2.1 FSK

Cuando se modula en FSK lo que se hace es variar la frecuencia de la portadora en función de los datos. En general los datos pueden ser 1 lógico ó 0 lógico por lo que son necesarias 2 frecuencias para la transmisión. La señal modulada en frecuencia va a ser de la siguiente forma:

$$s_1(t) = A \cos[2\pi(f_c \pm f_d)t + \phi]$$

En donde la frecuencia el signo \pm va a determinar el estado lógico ó el bit transmitido, se ve como que el signo va a transmitir la información lo cual a nivel matemático no es erróneo pero a nivel físico en realidad lo que se varía es la frecuencia de la portadora. En la figura de abajo se observa como se transmite la información y como la frecuencia de la portadora cambia cuando los bits cambian manejando básicamente 2 frecuencias $f_c + f_d$ para los 0's, que de aquí en adelante llamaremos frecuencia superior f_H , lógicos y $f_c - f_d$ para los 1's lógicos, que de aquí en adelante llamaremos frecuencia inferior f_L .

Figura 11 – Modulación FSK



Pero la frecuencia f_d , generalmente conocida como frecuencia de desviación ó *deviation frequency*, se debe de seleccionar cuidadosamente por 2 razones; La primera es qué sucede si la frecuencia f_d es demasiado pequeña la frecuencia superior para el f_H y la frecuencia inferior f_L se encontrará muy cercanas y en el receptor será muy difícil y / ó costoso poder diferenciarlas debido a la complejidad y sensibilidad del circuito del receptor. Por otro lado si la frecuencia f_d es demasiado alta, la separación entre la frecuencia f_H y f_L será muy elevada lo que implica un mayor ancho de banda, lo cual representa un problema aún más difícil de solucionar.

Por lo anterior debe existir una frecuencia f_d intermedia que dependerá primordialmente de la frecuencia a la cual se transmitan los datos. Una forma de relacionar ambas frecuencias es a través del índice de modulación β el cual Robert Morrow define en su libro de la siguiente forma:

$$\beta = \frac{2f_d}{R} = 2f_d T$$

En donde R es la frecuencia de transmisión y T su respectivo período. En general la frecuencia de transmisión es independiente de la modulación y depende de otros factores por lo que es un parámetro del cual disponemos para este cálculo, por otro lado, el índice de modulación para una transmisión FSK no muy exigente es de 1, en caso de ser un receptor un tanto más sofisticado el índice de modulación puede descender hasta un valor de 0.5 siempre y cuando sea para una transmisión de no más de 2 símbolos para mantenerlos completamente separados ortogonalmente.

El ancho de banda necesario para una transmisión FSK en teoría es infinito, sin embargo la potencia que se ubica en frecuencias lejanas a la frecuencia portadora central son prácticamente insignificantes. Bajo esas condiciones al aplicar la ley de Carson podemos determinar que el ancho de banda para este caso es el siguiente:

$$B_T \approx 2(f_d + R)$$

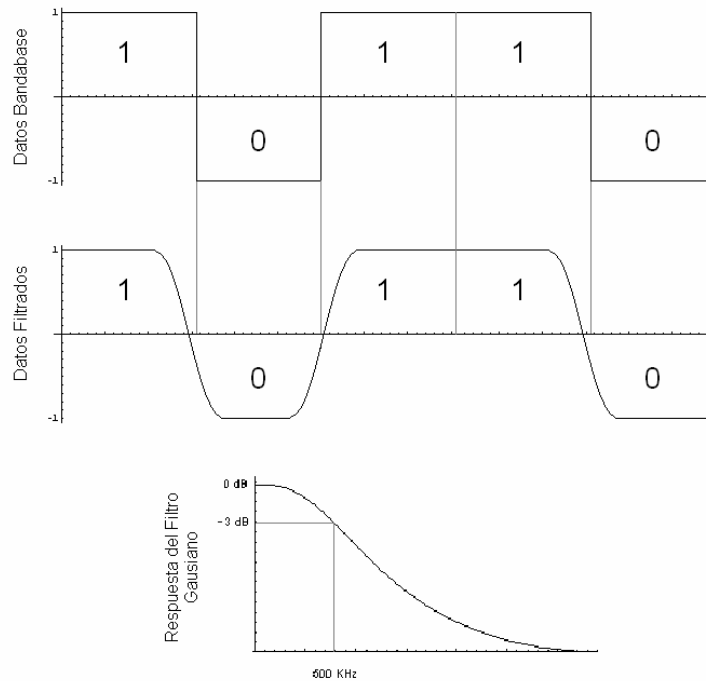
Pero para la mayoría de los casos en que se utiliza FSK actualmente la frecuencia de transmisión es suficientemente elevada por lo que la diferencia entre f_d y R es prácticamente insignificantes, para fines de cálculo de ancho de banda y no así para fines prácticos del receptor, por lo que Taub y Squilling en su libro plantean el ancho de banda con dicha aproximación:

$$B_T = 4R$$

1.6.2.2 Implementación de un filtro gaussiano.

En la transmisión de datos se producen cambios abruptos en los niveles de voltaje cuando se produce un cambio de estado lógico. En el peor de los casos se transmitirían 1's y 0's lógicos intercalados uno tras otro generando prácticamente un tren de pulsos. Dicho tren de pulsos tiene su representación de Fourier como una sumatoria infinita de componentes sinusoidales, las cuales varían en la serie en números impares, las cuales se atenúan a medida que se alejan de la componente fundamental, pero sin embargo ocupan un rango de frecuencias en el espectro para su transmisión.

Figura 12 – Implementación de un filtro gaussiano



El objetivo de poner un filtro Gaussiano es precisamente eliminar componentes sinusoidales y tener un ancho de banda menor que el que utilizaríamos transmitiendo la onda en Bandabase sin ser filtrada.

La selección de filtro a utilizar para dicho objetivo lo determinó la regulación existente en el momento de la aprobación del estándar Bluetooth 1.1 en referencia a la utilización de la banda ISM que limitaba en ancho de banda para una que utiliza la técnica FHSS y una modulación FSK a no más de 1MHz.

Un filtro gaussiano es un filtro paso bajos cuya respuesta en el dominio de la frecuencia es igual a la función gaussiana. La función de transferencia de dicho filtro gaussiano es la siguiente:

$$H(f) = e^{\frac{-1.4f^2}{B^2}}$$

En donde B es el ancho de banda del filtro a -3dB . El ancho de banda requerido para un filtro funcional para Bluetooth es de $B = 500 \text{ kHz}$ lo cual se representa en la gráfica anterior. Es obvio que la forma de los datos se perderá al eliminar componentes y los datos filtrados tomarán una figura parecida a la representada en la figura anterior.

Como es de esperarse todo beneficio tiene un costo y el aplicar un filtro para aumenta la interferencia intersimbólica. Como es de esperaras dicha interferencia está directamente ligada a la duración del bit, el cuan llamaremos T . La relación es muy directa y es que mientras se mantenga una frecuencia de transmisión con un período fijo T la interferencia intersimbólica aumentará a medida que disminuye el ancho del banda B del filtro, mientras que si tenemos un ancho de banda fijo para el filtro la interferencia intersimbólica aumentará a medida que aumenta la frecuencia de transmisión de los bits.

Por lo anterior, para un filtro gaussiano cuya aplicación será la transmisión de datos es muy común expresar las características del filtro como un producto BT . Este producto fue definido para Bluetooth como 0.5 por lo que en general se conoce como 0.5GFSK .

1.6.3 Requerimientos de modulación para Bluettoth

El SIG ha normado ciertos parámetros para la modulación utilizada en aquellos dispositivos aprobados por esta institución. Algunas de ellas son frutos de las regulaciones internacionales que se tuvieron al momento de la aprobación del estándar Bluetooth 1.1 pero no son necesariamente las mismas que los organismos internacionales proponen por lo que a continuación se listan las características relativas a la modulación de los dispositivos Bluetooth.

1. Modulación GFSK con relación $BT = 0.5$
2. Transmisión de datos a 1 Mbps

3. Índice de modulación k entre 0.28 y 0.35
4. f_H =representa el 1 lógico y f_L representa el 0 lógico.
5. Error de cruce por cero no mayor a una octava parte del período del símbolo.
6. La frecuencia f_d correspondiente a una secuencia 1010 será al menos el 80% de la frecuencia f_d correspondiente a la secuencia 00001111.

1.7 Definición de piconet y scatternet

Bluetooth ha creado dos definiciones nuevas para las redes PAN muy particulares al la forma de comunicación de este protocolo. En esencia existen 2 tipos de PAN Bluetooth, el Piconet y el Scatternet.

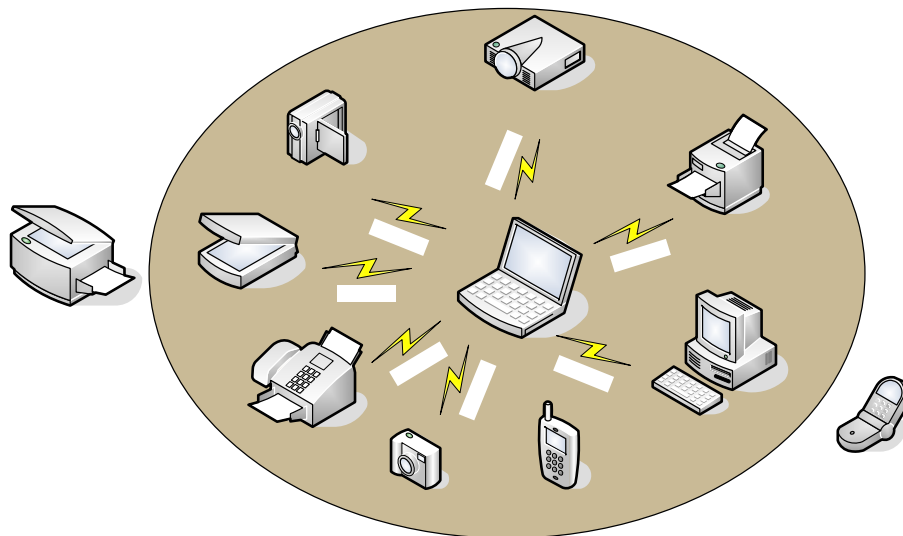
Un Piconet es la PAN que está formada por un único maestro y una serie de esclavos. Existe un máximo de 7 dispositivos conectados a un mismo maestro por lo que la cantidad máxima de dispositivos en una PAN Bluetooth será de siete.

Cada dispositivo puede estar en 4 estados:

Estado maestro: Es el dispositivo maestro que se encarga de sincronizar y temporizar todos los dispositivos esclavos con los que se comunica, en este estado puede comunicarse con un máximo de 7 dispositivos a mismo tiempo.

Estado esclavo: Es el estado en el cual el dispositivo se rige por el dispositivo maestro al cual pertenece y puede tener comunicación únicamente con éste último.

Figura 13 – Piconet



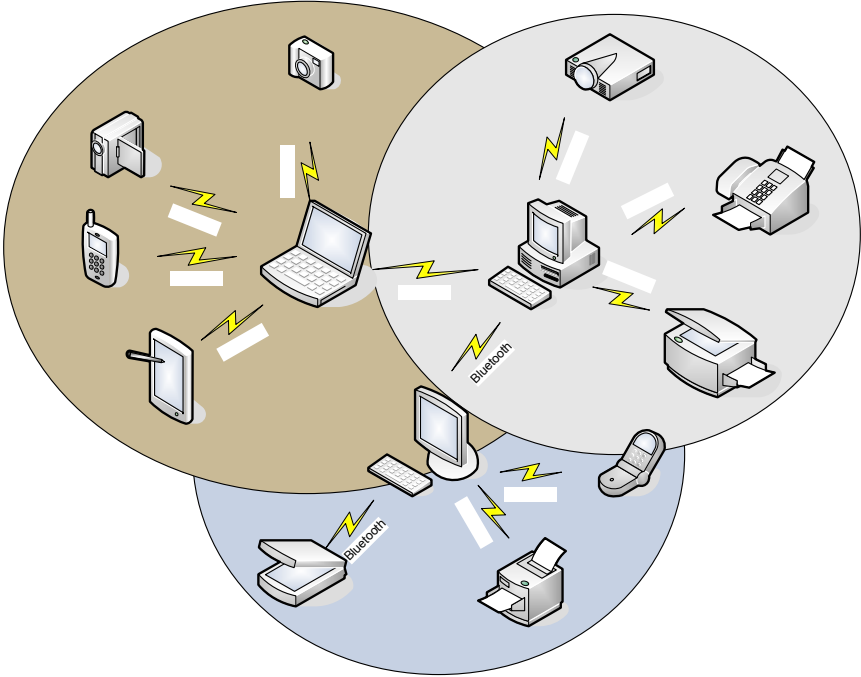
Estado Park: Es el estado en el cual un dispositivo está dentro del rango de cobertura de algún dispositivo maestro en espera de comunicación con éste. Regularmente este estado se da cuando el dispositivo maestro ya no tiene capacidad para establecer comunicación con otro esclavo más por lo que el esclavo queda *parqueado* en espera de la liberación de algún canal.

Estado Stand By: Es cuando un dispositivo se encuentra en una zona aislada en donde no encuentra cobertura de otro dispositivo por lo que está en espera de encontrarlo.

Una Scatternet es una red formada por la unión de 2 ó más Piconets. Una Scatternet no tiene límite de dispositivos definidos pero siempre está limitada por la condición que cada Maestro solo podrá tener un máximo de 7 dispositivos conectados.

Stand By

Figura 14 - Scatternet



e
esc

2. ARQUITECTURA DEL PROTOCOLO BLUETOOTH

2.1 El modelo de referencia OSI (Protocolo de capas)

El modelo de referencia OSI es un modelo ó protocolo desarrollado con el fin de favorecer la interoperabilidad de sistemas de redes, es por esto que es un modelo de referencia lo cual no contiene normas estrictas ni parámetros concretos más que una referencia de la arquitectura que un protocolo debe tener para poder operar con los protocolos existentes y de hecho su nombre OSI hace referencia a un modelo abierto para la interconexión de sistemas cuyas siglas nacen del inglés *Open Systems Interconnection* sino más bien es un conjunto de estándares funcionales que especifican interfaces, servicios y formatos de soporte para conseguir la interoperabilidad. El modelo comenzó a nacer a mediados de los 70's y fue aprobado por el organismo internacional ISO (*Internacional Standards Organization*) en 1984, bajo la norma ISO 7498.

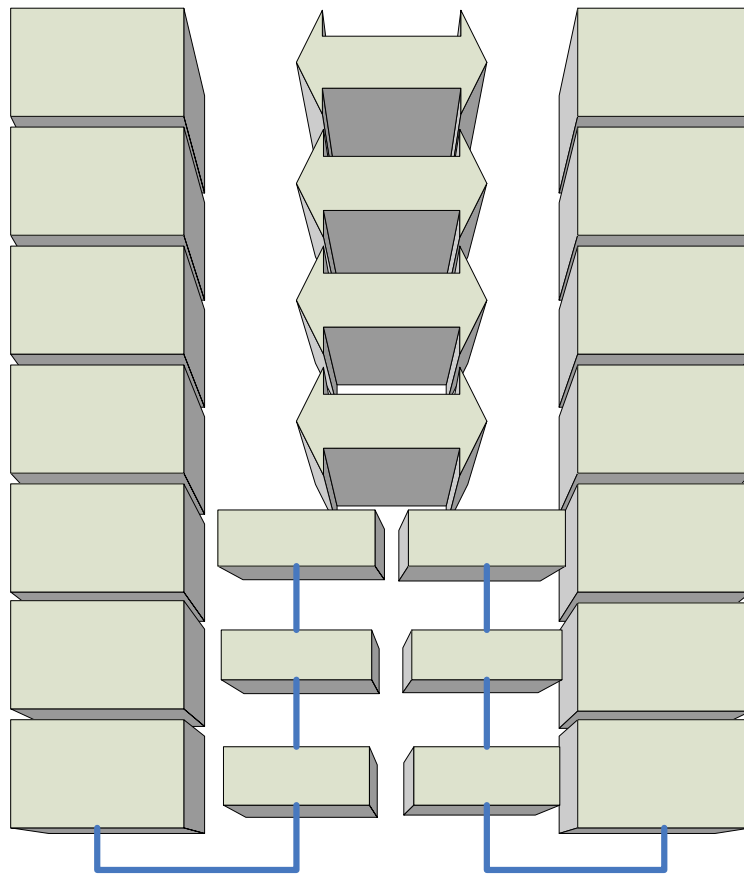
El modelo de referencia OSI está formado por siete capas ó niveles a los cuales hace referencia para el diseño de un nuevo protocolo que permita a diferentes diseñadores y usuarios la utilización entre sí de varios niveles de comunicación de redes de distintos protocolos. La creación de los niveles de referencia se definió en siete con el objetivo de delimitar fronteras de tal manera de no tener tantos niveles y provocar que la integración y la descripción de éstos lleguen a ser demasiado difíciles pero tener suficientes niveles para que cada uno no sea tan complejo en términos del desarrollo de un protocolo detallado con especificaciones correctas y ejecutables.

Cada nivel debe de contar con ciertas premisas las cuales se enumeran a continuación:

1. Cada nivel realiza tareas únicas y específicas y debe ser creado cuando se necesite un grado diferente de abstracción.
2. Todo nivel debe tener conocimiento de los niveles inmediatamente adyacentes y sólo éstos.
3. Todo nivel debe servirse de los servicios del nivel anterior, a la vez que los debe de prestar al superior.
4. Los servicios de un nivel determinado son independientes de su implantación práctica.
5. Los límites de cada nivel se deben seleccionar, teniendo en cuenta que minimicen le flujo de información a través de las interfaces establecidas.

Muchos de los términos se duplican de capa en capa, un nivel representativo ofrece un conjunto de servicios a la entidad de la capa superior. Es por ello que la capa superior se llama Usuario de Servicio y la capa inferior Proveedor de Servicio. A continuación se muestran las siete capas del modelo OSI y cómo van interrelacionadas, las cuales se detallarán más adelante.

Figura 15 Capas del modelo OSI



2.1.1 Capa de aplicación

Esta capa define la manera en que las aplicaciones interactúan con la red proporcionando los procedimientos precisos que permiten a los usuarios ejecutar los comandos relativos a sus propias aplicaciones.

En esta capa se ubican las aplicaciones y servicios a los cuales el usuario tiene acceso regularmente y para los cuales se utiliza una red. Entre las aplicaciones que podemos mencionar están las siguientes: Compartir recursos, acceso remoto a archivos, acceso remoto a impresoras, comunicación de procesos internos, gestión de red, mensajería electrónica.

La transferencia de archivos, el acceso remoto a archivos y el servicio de mensajería electrónica (e-mail) son las aplicaciones más comunes actualmente. Las normas más conocidas de éste nivel son: X.400 (Correo Electrónico) y X.500 (Directorio) del CCITT, otras normas son FTMA (ISO 8.571), DS(9,594), MHS (10,021), ODA (8,613), VT (9,041), RDA (9,570), DTA (10,026) y CMIP.

2.1.2 Capa de presentación

Esta capa es la encargada de acondicionar los datos entre la capa de aplicación y la red tanto para el envío como para la recepción. En esta capa se define el formato en que la aplicación será intercambiada entre aplicaciones así como las sintaxis utilizadas entre las mismas, como los controles y los formatos de la pantalla y de los archivos para la interacción con el usuario. En conclusión en esta capa se traducen los datos entre el formato utilizado en la capa de aplicación y el formato utilizado para el envío de los datos a través de la red. Entre las funciones que podemos encontrar en esta capa se encuentran las siguientes:

1. Cambio de formato ó código de caracteres
2. Conversión de datos
3. Compresión de datos
4. Encriptación.

El Cambio de formato ó código de caracteres se refiere a la modificación de estándares de los caracteres entre el estándar de la capa de aplicación y el de envío como por ejemplo el cambio del código ASCII al EBCDIC. La conversión de datos hace referencia a cambios de orden de los bits, enteros de punto flotante, etc. La compresión de archivos se refiere a la reducción del número de bits que se transmitirán reduciendo ésta cantidad al mínimo de tal forma que el archivo se recupere el archivo original con la información contenida en lo bits enviados. En esta capa es donde los datos son encriptados para que en la transmisión se garantice un cierto nivel de seguridad y por ende en esta capa está asociada la descriptación de los mismos.

2.1.3 Capa de sesión

Esta capa establece la forma en que se van a comunicar los equipos para la transmisión de información. Se entiende por sesión al intervalo de tiempo en que los equipos se encuentran intercambiando datos por lo que en esta capa se especifica la forma ó protocolo que se utilizará para iniciar y terminar la sesión.

Una analogía que ejemplifica la función de ésta capa es la telefonía swichada en donde la persona al momento de levantar el auricular manda una señal a la central telefónica y la central emite un tono (tuuuuu continuo) para indicar que puede marcar el número telefónico para iniciar la comunicación, así mismo si uno no marca en un período de tiempo ningún número la comunicación entre el teléfono y la planta telefónica se pierde indicándolo a través de otro tono (tu tu tu discontinuo) por lo que uno sabe cuando existe comunicación y cuando no existe comunicación.

Como en esta parte está contenida la forma en que se entienden ambos CTE también en esta capa se encuentra la forma en que se informan del estado de recepción de la información, es decir informa el momento en que se ha recibido la información y si ésta contiene errores en la recepción. Por lo tanto en ésta capa están incluidos los códigos de errores para la verificación de la recepción adecuada de la información.

Recapitulando podemos mencionar dos funciones principales de ésta capa:

1. Establecimiento, mantenimiento y terminación de la sesión: Es decir todo el protocolo para iniciar la sesión y especificar la forma de comunicación. Esto pudiera ser Half Duplex, Duplex Completa, bit de inicio, bit de fin, etc
2. Soporte a la sesión: Esto se refiere a todas aquellas funciones que permiten el proceso de comunicación en una red. Por ejemplo la autenticación por motivos de seguridad, los usuarios y códigos de acceso, etc.

2.1.4 Capa de transporte

El nivel de transporte se refiere principalmente a la forma en que los datos se van a transportar dentro de la red aquí se deben de especificar las direcciones de la red, el establecimiento de circuitos virtuales y los procedimientos de entrada y salida a la red. Acá se refleja la eficiencia del transporte de datos a través de parámetros como la Calidad de Servicio o QoS que es un nivel de calidad que se maneja para las redes de datos.

Esta capa es la encargada de definir las rutas que se tomará la información generada en la capa de presentación y cuando dichos paquetes sean de mayor tamaño que el de la capacidad de transmisión de la red de fraccionarlos. Los paquetes viajarán por las rutas designadas y esta capa es la responsable de verificar el ordenamiento correcto de los paquetes cuando éstos han sido enviados por varios VPN's y llegan en desorden, así mismo cuando algún paquete se extravía en la red y no llega a su destino final se encarga de verificar su ausencia y solicitar dicho paquete de nuevo. La capa de transporte se puede encargar de realizar un análisis estadístico para ver cuáles rutas son más eficiente en el envío de información y utilizarlas en mayor proporción para el envío de paquetes esto no siempre sucede ya que requiere un nivel más complejo de diseño de los equipos y como el modelo OSI solamente es de referencia puede eliminarse esta parte repercutiendo en la calidad del servicio prestado.

También en esta capa se verifica en estado a lo referente a la capa de sesión y es aquí donde interactúa con la capa de nivel superior. Éste nivel se encarga de verificar cuando existe un retardo en el establecimiento de la conexión, ya que va a ser un paquete no recibido cuando se realiza una solicitud de inicio de sesión, así mismo se verifican situaciones como falla en la conexión, protección contra intrusiones, niveles de prioridad, interrupción por congestión, retardo en la liberación de la conexión, error en la liberación, etc.

2.1.5 Capa de red

La capa de red es la encargada de dar el formato a los datos dentro de un paquete agregado a éste un encabezado el cuál indicará la secuencia de los paquetes u orden de los paquetes, la dirección del dispositivo al cual se envía la información y los servicios requeridos por la red de datos.

La red se encarga de enlutar los paquetes de tal forma de proveer el servicio requerido. Algunas veces una copia de dichos paquetes es guardada como respaldo en un nodo específico y se almacena ahí todo el tiempo necesario hasta que dicho nodo recibe una confirmación de recepción de dicho paquete, esto es para que en dado caso el paquete llegase incorrectamente ó no llegase el nodo esperará un tiempo prudencial y reenviará el paquete de nuevo, esto sucede en el protocolo X.25 que fue una tecnología muy utilizada años atrás y fue sustituida en primera instancia por la tecnología Frame Relay y actualmente por la tecnología IP y MPLS. En esta capa se establece un patrón de envío de paquetes, esto es una configuración del equipo enrutador la cual establece una tabla de posibles trayectorias de los paquetes y distribuye los paquetes de tal forma que el mensaje llegue de la forma más rápida sin importar la secuencia u orden de el envío de paquetes.

En esta capa se definen las siguientes funciones principales:

1. Enrutamiento: Son las rutas que toma la trama a través de los distintos nodos de la red.
2. Control de tráfico de subred: El router puede decidir cambiar la ruta de algún paquete cuando detecte que el búfer del router siguiente se encuentra completamente lleno para direccionarlo a otro router que se encuentre más despejado.
3. Segmentación de Tramas: Si el router detecta que el siguiente router no acepta tramas del tamaño del cual éste recibe puede segmentar dicha trama en fracciones accesibles para el router del nodo siguiente y así poder continuar el envío de la información.

4. Mapeo de direcciones lógicas-físicas: Se encarga de convertir las direcciones lógicas ó nombres en dispositivos, ó direcciones físicas.

2.1.6 Capa de enlace

Esta capa es la que se encarga de establecer el enlace, a los ojos de esta capa no se define si la información viaja a través de paquetes y si el encabezado lleva alguna información relativa a dirección o ubicación por lo que realiza las operaciones de envío y recepción de una forma más rápida en especial en aquellos puntos internodales que son únicamente de unión y no se necesita más que la retransmisión de los paquetes recibidos.

La función básica de esta capa es tomar el paquete recibido y ubicarlo dentro de una trama correcta para que puedan ser enviados a través de la red, es decir es el responsable de la integridad de la recepción y envío de la información. Dentro de la trama se incluyen bits de redundancia y de control para corregir los errores de la transmisión, además regula el flujo de las tramas para sincronizar su transmisión y recepción. En esta capa se determina el uso de una disciplina de comunicación conocida como HDLC (*High Level Data Link Control*) el cual es un protocolo de línea considerado como un estándar universal que muchos toman como modelo en donde los datos se organizan en tramas.

Podemos mencionar algunas funciones concretas de esta capa:

1. Establecer y Terminar el enlace entre dos nodos.
2. Controla el trafico de tramas mediante la verificación de disponibilidad de bufers de tramas.
3. Establecer la secuencia para el envío de tramas.

4. Reconocer las tramas enviadas y que dichas tramas sean recibidas correctamente.
5. Delimitar los límites de una trama, es decir definir cuándo comienzan y terminan.
6. Verificar la integridad de la trama a través de los controles de errores.
7. Administrar el medio, es decir saber el momento que una trama puede utilizar el medio para envío ó recepción de información.

2.1.7 Capa física

La capa física define los parámetros físicos necesarios para la comunicación de las redes, en ella se definen los niveles de tensión para los niveles lógicos 1 ó 0 es decir en ésta etapa se define cómo va entender cada equipo un 1 ó 0 por ejemplo 5 Voltio representa un 1 lógico y -5Voltios representa un 0 lógico. Aquí también se definen los demás parámetros físicos como el medio y los circuitos. Además de los medios mecánicos y eléctricos esta capa provee los medios funcionales y de procedimiento para establecer, mantener y liberar conexiones físicas entre el CTE y el DCE ó otro CTE. A continuación se mencionan las 4 principales características de ésta capa y una explicación de ellas.

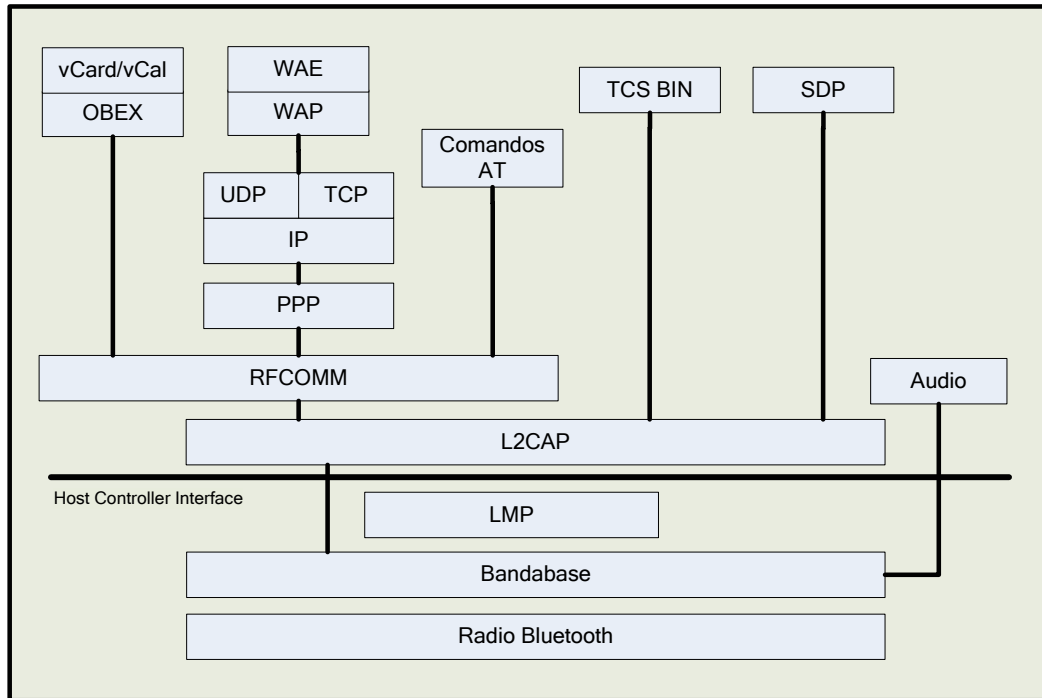
1. Mecánicas: Se refiere a las propiedades físicas del interfaz con el medio de transmisión. A veces, incluye la especificación de un conector que une una o más señales de los circuitos, sus dimensiones físicas, la distribución de sus pines, etc.
2. Eléctricas: Se refiere al las características propiamente eléctricas como niveles de tensión, energía, impedancia, etc.

3. Funcional: Se refiere a las funciones realizadas por los circuitos individuales del interfaz físico entre un sistema y el medio de transmisión
4. De procedimiento: Se refiere a la secuencia de eventos por los que se intercambia un flujo de bits a través del medio físico.

2.2 Pila del protocolo Bluetooth

El protocolo Bluetooth consta de sus propias capas las cuales están contenidas en las especificaciones de dicho protocolo en donde se hace uso de cada una de las capas contenidas en la pila del protocolo. Así como en el modelo OSI la arquitectura de capas presentada para el protocolo Bluetooth tiene como objetivo primordial la interoperabilidad de los dispositivos entre sí y esto se cumple cuando los protocolos internos de Bluetooth corren sobre un mismo protocolo a los dispositivos remotos. Como se puede observar en el modelo de capas ó pila del protocolo Bluetooth ésta involucra el uso de un común enlace de datos y una capa física. No todas las capas son utilizadas en todas las aplicaciones de Bluetooth y dependiendo el diseño y la necesidad que se busque solucionar.

Figura 16 Pila del protocolo Bluetooth



La pila del protocolo comprende ambos protocolos que son específicos a la tecnología inalámbrica Bluetooth que son LMP y L2CAP y otros protocolos como los son OBEX (Object Exchange Protocol) UDP (User Datagram Protocol) y WAP (Géreles Application Protocol) que pueden ser usadas en muchas plataformas más. Se puede observar la utilización de protocolos conocidos en la parte alta de la pila del protocolo Bluetooth y esto es una de las razones por la cual éste protocolo fue desarrollado tan rápidamente y la aceptación e interoperabilidad de los dispositivos que utilizan éste protocolo es tan amplia, es como decir que reinventaron lo ya inventado ya que aplicaron de una forma magistral los distintos protocolos existentes.

Lo versátil de éste protocolo permitió a muchos diseñadores tomar rápidas ventajas de éste protocolo ya que era bastante compatible con los diseños que habían elaborado anteriormente y las modificaciones que se debían de realizar para cumplir con las normas de la especificación. En conclusión al igual que el modelo OSI la pila del protocolo Bluetooth es también un modelo de interconexión abierto de lo cual las aplicaciones pueden tomar una ventaja completa de los beneficios que ofrece la tecnología inalámbrica Bluetooth.

El protocolo Bluetooth puede dividirse principalmente en 4 capas las cuales se muestran en la tabla 2.1 en la siguiente página.

Tabla 2.1 – Capas del Protocolo Bluetooth

Capa del Protocolo Bluetooth	Miembros de la pila del protocolo
Protocolos centrales Bluetooth (Core)	Banda base LMP (Link Management Protocol) L2CAP (Logical Link Control and Adaptation Layer) SDP (Service Discovery Protocol)
Protocolo de sustitución de cables	RFCOMM (Radio frequency Communication)
Protocolos de control telefónico	TCS BIN (Telephony Control Specification Binary) Comandos AT
Protocolos Adoptados	PPP (Point-to-Point Protocol) UDP (User datagram Protocol)/ TCP (Transmission control Protocol)/ IP (Internet Protocol) OBEX (Object Exchange Protocol) WAP (Wireless Application Protocol) vCard vCalendar IrMC (Infrared Mobile Communications) WAE (Wireless Application Environment)

2.2.1 RFCOMM

El protocolo RFCOMM es un protocolo que se encarga de emular un puerto serial normal. Dicho protocolo hace transparente el medio de comunicación serial siendo éste Bluetooth. Se explica con más detalle en el inciso 3.3.1.

2.2.2 Protocolos centrales Bluetooth

Los protocolos centrales son específicos de la tecnología inalámbrica Bluetooth los cuales fueron desarrollados por el SIG Bluetooth. Los protocolos RFCOMM y TCS BIN fueron desarrollados por el SIG pero éstos se basaron en estándares existente como el ETSI TS 07.10 y la recomendación ITU-T Q.931. Los protocolos centrales y el radio de Bluetooth son requeridos en la mayoría de dispositivos, mientras que el resto de los protocolos son usados únicamente cuando son necesarios. A continuación se explican los protocolos contenidos en ésta capa.

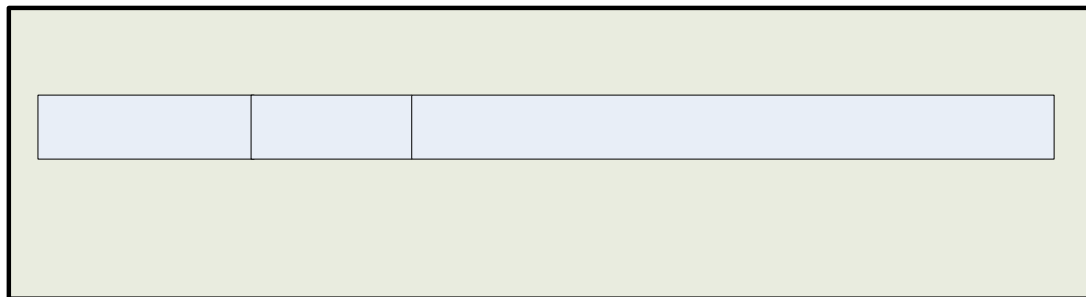
2.2.2.1 Bandabase

La capa bandabase establece el enlace físico entre los dispositivos Bluetooth y un piconet. Como Bluetooth RF utiliza FHSS en los cuales los paquetes son transmitidos en intervalos de tiempo definidos a través de un espectro frecuencias, esta capa maneja los procedimientos para la sincronización de la transmisión, los saltos de frecuencia y el reloj entre los distintos dispositivos Bluetooth.

Esta capa provee dos distintos tipos de enlaces físicos con sus correspondientes paquetes en banda base. Una conexión síncrona orientada (SCO) y una conexión asíncrona sin conexión (ACL) las cuales pueden ser transmitidas multiplexadas en un mismo enlace RF.

Los paquetes en bandabase están formados por la estructura de la figura que se muestra abajo. Dicha estructura se divide en 3 partes, el Código de Acceso, el Encabezado e Información. El código de acceso es de 72 bits y es usado para sincronizar el receptor, pero también contiene información como la identidad del piconet y la dirección del destinatario. El encabezado es generalmente de 54 bits y contiene la dirección del destinatario, el tipo de paquete de información enviada y alguna información para el control de errores de la transmisión. Por último el paquete de información es un paquete de tamaño variable que contiene el mensaje ó información enviada. Dicho paquete puede variar desde 0 a 2745 bits dependiendo de la información enviada. La transmisión de todo el paquete se realiza en una transmisión conocida como “*Little Endian*” en la cual el orden de transmisión es LSB es decir se envía primero el bit menos significativo.

Figura 17 – Estructura del paquete Bluetooth



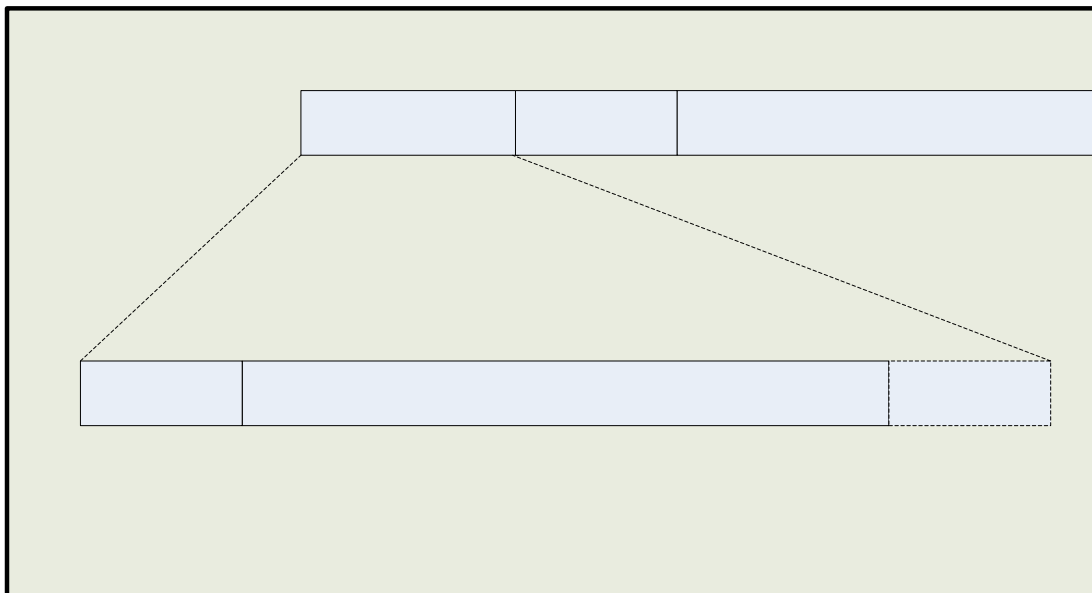
Es importante notar que solamente parte de cada paquete en bandabase es información que se desea intercambiar por el usuario. Las otras partes como el código de acceso y el encabezado son necesarias para el correcto funcionamiento del enlace del piconet pero no es parte del intercambio de información. De acá que se conoce que la velocidad del protocolo Bluetooth es de 1 Mbps pero en realidad el protocolo puede alcanzar una velocidad en transferencia de datos de 721 Kbps.

2.2.2.1.1 Código de acceso

El código de acceso provee la sincronización entre los dispositivos, el código de acceso:

1. Puede ser usado por el dispositivo esclavo para resincronizar su reloj con el reloj del piconet al que se comunica, es decir al reloj del dispositivo maestro.
2. Provee el bit y palabra de sincronización.
3. Envía una compensación para el control de datos para minimizar el BER.
4. Incluye la información básica que identifica el piconet.
5. El paquete de código de acceso se subdivide a su vez en tres partes: Preámbulo, palabra de sincronía y acople.

Figura 18 – Estructura del código de Acceso



El Preámbulo y el primer bit de la palabra de sincronía es una secuencia de 5 bits en la que se envían 1 y 0s alternados con el objetivo de que el detector del receptor detecte el umbral entre un 1 y un 0 a nivel físico para minimizar el BER.

El acople es precisamente lo que indica su nombre, acopla el código de acceso con el encabezado. Este es también una secuencia de 1 y 0s al igual que el preámbulo en donde el quinto bit es el primer bit del encabezado, esto sirve para confirmar la existencia del encabezado y mantener la sincronía. Si no hay encabezado por consiguiente tampoco existirán los 4 bits de acople.

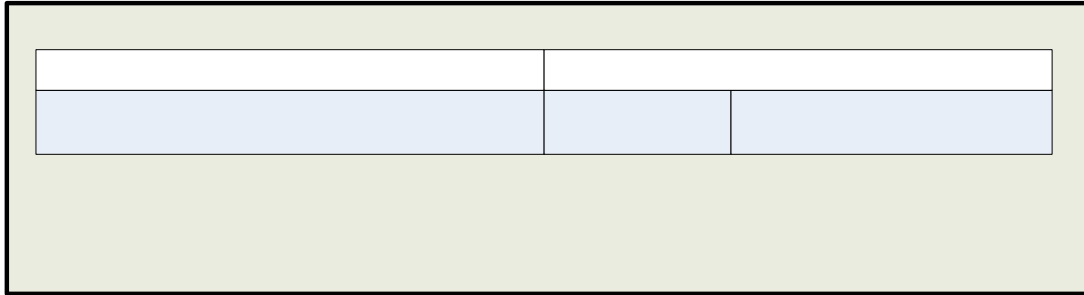
La generación de la palabra de sincronía se lleva a cabo gracias a una serie de rutinas *shift and add* que pueden ser implementadas con la técnica LFSR. Esto es función de la dirección del dispositivo Bluetooth y del tipo de código de acceso que se desea.

2.2.2.1.2 Direcciones Bluetooth

Existen cuatro tipos de direcciones que manejan en el protocolo Bluetooth, dichas direcciones son números hexagesimales pero para un entendimiento más sencillo se utiliza un código de texto. Los tipos de direcciones y sus respectivos códigos son Dirección del dispositivo Bluetooth (BD_ADDR), Dirección del miembro activo (AM_ADDR), Dirección del miembro en estado parqueado (PM_ADDR) y Dirección de solicitud de acceso (AR_ADDR).

La dirección de cada dispositivo Bluetooth ó BD_ADDR está formada por 3 partes según se muestra en la figura. La parte baja ó LAP que contiene 24 bits, la parte alta ó UAP que contiene 8 bits y la parte no significativa ó NAP que contiene 16 bits.

Figura 19 – Estructura de la dirección BD_ADDR



La parte baja ó LAP es un código de dirección que asigna la compañía fabricante del dispositivo a cada dispositivo con el fin de identificar a los dispositivos elaborados por el mismo fabricante con las mismas especificaciones y que se encuentran ambos en un mismo piconet ó scatternet. La parte alta UAP y la parte no significativa NAP forman juntas un código de 24 bits, el cual es un código asignado por el grupo IEEE 802 como un código de identificación de organización único conocido como OUI. Esta dirección es equivalente a la dirección MAC de los dispositivos de red cableada.

La dirección de Miembro activo o AM_ADDR es la forma en la cual el dispositivo maestro direcciona la comunicación y/o la información hacia los dispositivos esclavos en un piconet. Dicha dirección es de 3 bits, de aquí que la posibilidad máxima de comunicación de un dispositivo maestro es con 7 dispositivos asignándoles direcciones desde 001 al 111. El valor 000 es reservado para los paquetes de broadcast. Dicha dirección es lo primero que contiene el encabezado de un paquete bluetooth. Esta dirección es el equivalente a la dirección IP de las redes cableadas.

Los dispositivos que se encuentran en estado parqueado informan al dispositivo maestro su existencia dentro de la zona del piconet. El dispositivo maestro asigna una dirección a cada dispositivo en estado parqueado para que luego en el momento que se desconecte a algún esclavo el dispositivo maestro puede llamarlo a través de esa dirección para llevarlo a un estado activo. Dicha dirección es la PM_ADDR y es un código de 8 bits, por lo tanto el dispositivo maestro podrá *ver* hasta un máximo de 255 dispositivos, ya que la dirección 0 se le asigna momentáneamente a aquel dispositivo que pasa del estado parqueado al estado activo.

La dirección de solicitud de acceso AR_ADDR es asignada por el dispositivo maestro cuando envía momentáneamente a algún dispositivo esclavo a un estado de parqueo momentáneo mientras finaliza alguna acción con otro dispositivo maestro. Esta dirección sirve para que el dispositivo esclavo solicite acceso al maestro y que el dispositivo maestro tenga conocimiento que dicho dispositivo es un miembro activo del piconet.

Los 4 tipos de códigos de acceso existentes son los siguientes:

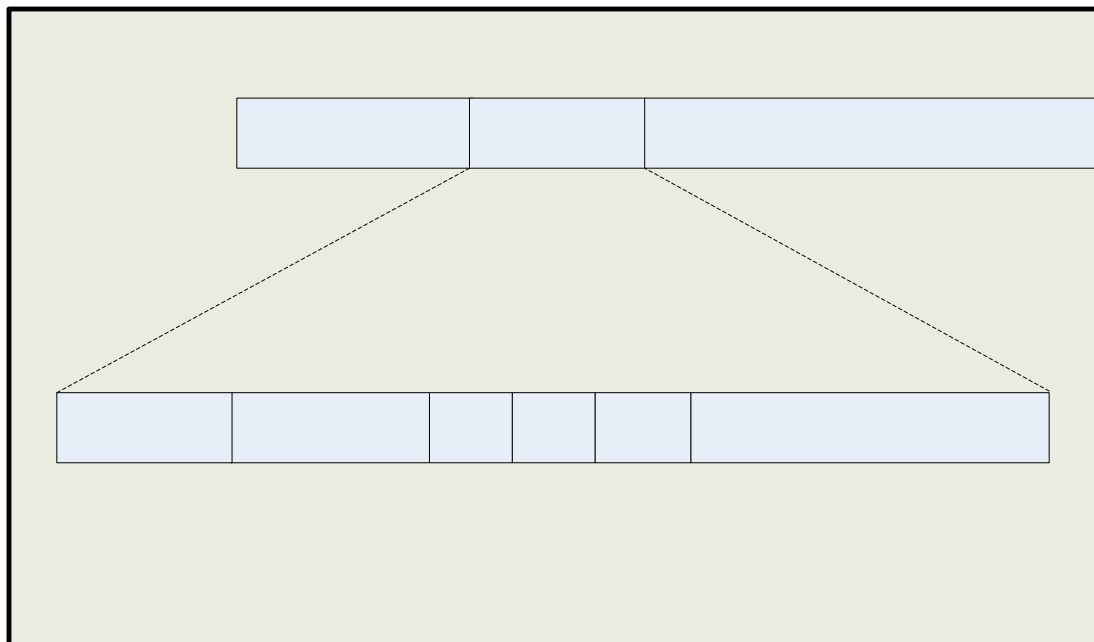
1. Código de acceso al canal (CAC) es la primera información que recibe cada esclavo en donde se envía la LAP del dispositivo con el que se desea comunicar. De esta forma solamente recibirá el paquete quien corresponda con la LAP.
2. Código de acceso del dispositivo (DAC), esta es una simple solicitud de respuesta del maestro hacia un esclavo específico. Se realiza cuando el maestro está buscando un dispositivo en su red.
3. Código de invitación general (GIAC), es una invitación general del dispositivo maestro a que cualquier dispositivo cercano avise su existencia dentro del piconet su interés en ser un miembro activo de éste.

4. Código de invitación específica (DIAC), es una invitación pero para dispositivos que cumplan con ciertas características. Pudiera ser una invitación específica para impresoras.

2.2.2.1.3 Encabezado

El encabezado contiene la información para el control del enlace, el encabezado no siempre se utiliza, dependiendo de la aplicación y la prioridad que el diseñador del dispositivo ha creado se inserta dicho encabezado. Este es uno de los protocolos opcionales de Bluetooth. La figura 20 muestra la estructura del encabezado.

Figura 20 – Estructura del Encabezado



El primer bloque de del encabezado es la dirección de miembro activo AM_ADDR de 23 bit. Existen varios tipos de paquetes. El código del paquete puede ser de 4 bits por lo que se tiene la capacidad de 16 tipos de paquetes. Por el momento existen definidos únicamente 3 tipos de paquetes SCO y 7 tipos de paquetes ACL. Acá se incluye la cantidad de time slot que el paquete utilizará.

El control del flujo de datos se controla a través del bit que lleva dicho nombre. Cuando la capacidad de los buffers del receptor se llena el estado del dicho bit cambia a cero y lo que indica un para en el envío de la información. Esto solo sucede en comunicaciones ACL por razones que serán obvias más adelante.

El ARQ es una solicitud automática de reenvío de información. Esto se da cuando el paquete de información no llega correctamente y el chequeo de redundancia cíclica CRC informa la recepción errónea del paquete. Se conoce como el bit de confirmación de recepción correcta del paquete.

El número de secuencia SEQN es un número enviado por el transmisor en donde indica la secuencia de los paquetes enviados para que el receptor pueda armar en orden correcta la información enviada.

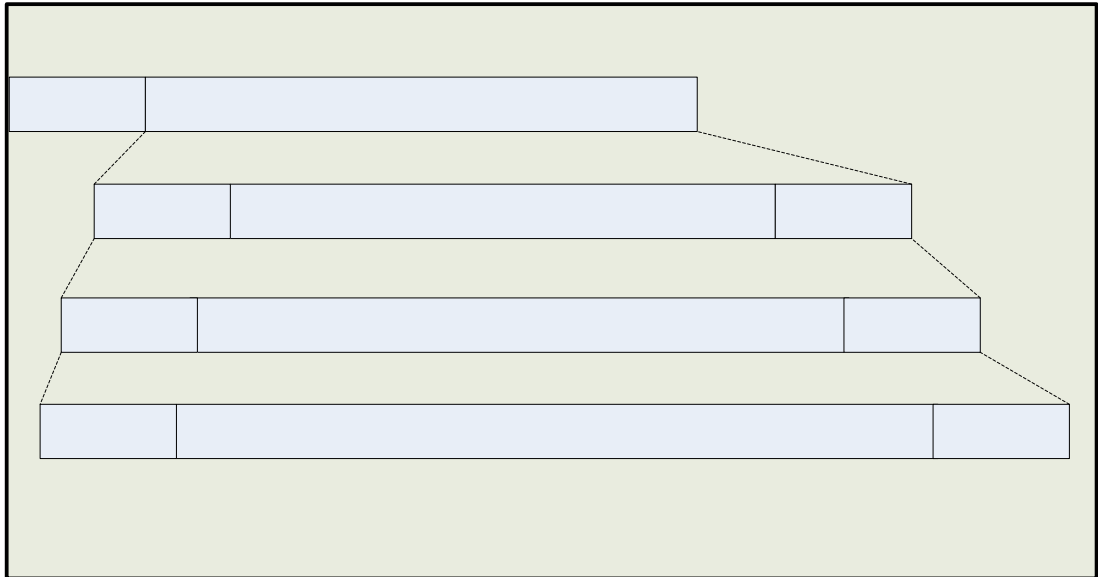
El HEC es una secuencia pseudoaleatoria generada por LFSR con la información del resto del encabezado y información del código de acceso. Esto es para verificar que el destino final del paquete. Si el HEC no es correcto el resto del paquete es ignorado.

Como se ve el encabezado sirve para mantener un control en el enlace, por lo que muchas veces dependiendo de la prioridad de la información puede o no ser agregado dicho paquete.

2.2.2.1.4 Información

El paquete de información está formado principalmente por los datos que se desea intercambiar, sin embargo cuenta con 2 campos más. La figura 21 muestra la estructura del paquete de información.

Figura 21 – Estructura del bloque de Información



Los campos que contiene son 3 el encabezado de los datos, los datos y el CRC. **54 bits**

El encabezado posee la información del paquete de datos, en este nos indica que tipo de paquete está contenido y el ancho del paquete de datos, es decir la cantidad de bits del paquete de información sin contar el encabezado y el CRC.

En la estructura se observan 3 tipos de estructuras distintas. Esto se debe a que se pueden enviar paquetes de distintos tamaños, concretamente los 3 tamaños que se muestran en la figura anterior. El paquete puede durara ya sea 1 time slot, 3 time slot ó 5 time slot, esto se especifica en el encabezado de los datos y es en números impares debido a que la sincronía del maestro envía información en time slots definidos y si un paquete toma el time slot de envío del maestro necesariamente tendrá que tomar el de recepción.

Encabezado

Encabezado de datos

LSB 8 bits

Encabezado de datos

LSB 8 bits

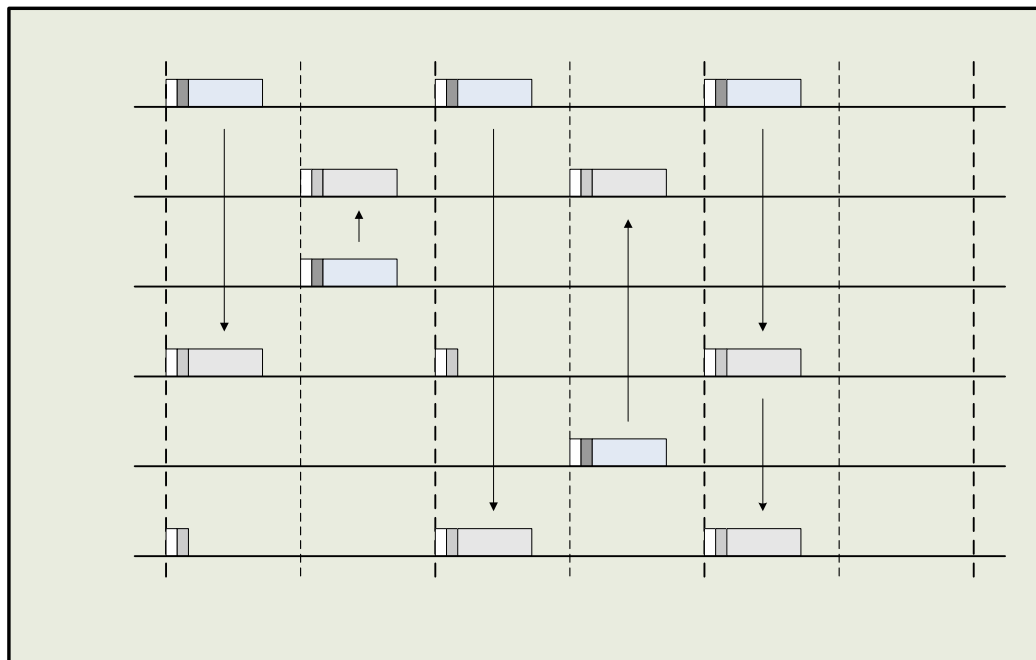
Encabezado

2.2.2.2 SCO

Un enlace SCO se establece cuando es más importante la latencia que la integridad de los datos entre el dispositivo maestro y el esclavo. La latencia es el tiempo entre la creación de un nuevo paquete en el nodo de transmisión y su recepción exitosa, pero no necesariamente correcta, en el nodo de recepción. Esta comunicación es punto a punto entre un dispositivo maestro y un esclavo.

Una baja latencia se garantiza mediante 2 métodos, el primero es la organización del envío de los datos de transmisión en determinados time slots, de tal forma que se asegura el envío de datos periódicamente y el segundo es la no retransmisión de los paquetes de información lo cual intenta garantizar una comunicación en tiempo real.

Figura 22 – Comunicación SCO para múltiples esclavos



Los paquetes SCO son intercambiados en pares, primero desde el maestro al esclavo y después desde el esclavo al maestro en time slots consecutivos, según se muestran en la figura anterior. El dispositivo esclavo podrá mandar información al maestro inclusive cuando este último no haya enviado información en el time slot anterior pero no podrá mandar información al maestro cuando éste último haya enviado información a un esclavo distinto.

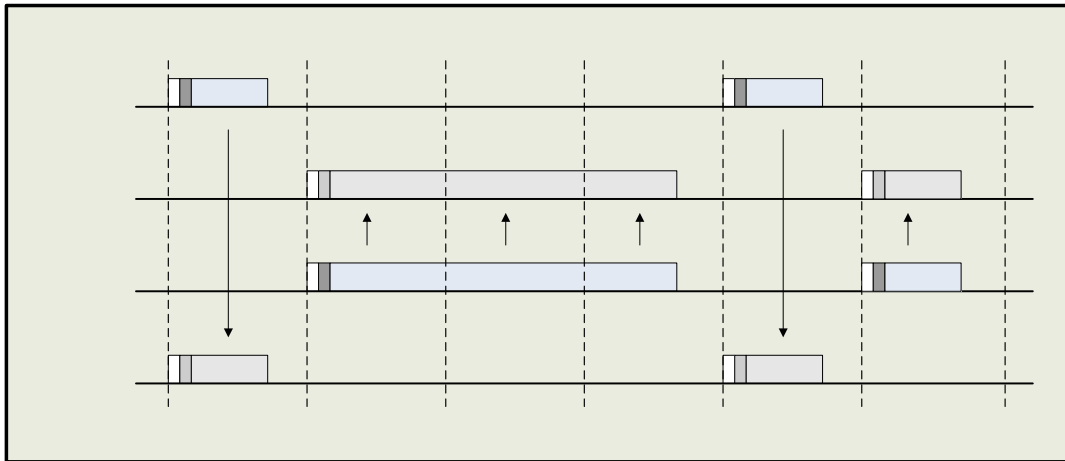
2.2.2.3 ACL

La comunicación ACL es utilizada cuando la integridad de los paquetes es más importante que la latencia. En este sistema se utilizan las técnicas de verificación de errores en la transmisión. El sistema de paquetes swichados ó Packet switching es utilizado en éste tipo de comunicación en donde un paquete que es recibido con error es retransmitido. La retransmisión de los paquetes va a depender del BER del canal de tal forma que la latencia varía y puede volverla mayor.

A diferencia de SCO un dispositivo esclavo podrá transmitir al dispositivo maestro únicamente si en el time slot anterior el dispositivo maestro autoriza mediante un paquete de información la transmisión de información del dispositivo esclavo, en este caso si el paquete de autorización enviado por el maestro se daña, el esclavo no podrá transmitir a pesar de tener autorización ya que no estará enterado. El maestro podrá enviar mensajes de broadcast pero los esclavos no.

En una comunicación ACL los paquetes pueden tomar más de un time spot para envío de información, esto se puede dar cuando la latencia no es tan importante como la integridad de los datos y para enviar datos de un tamaño regular. La siguiente figura muestra gráficamente como sucede en la realidad.

Figura 23 – Envío de paquetes grandes



Existe un tercer tipo de comunicación en el cual es tan importante la latencia como la integridad de los paquetes, el cual se maneja a través de comunicación ACL y tiene su mayor aplicación actualmente en los archivos de audio MP3 en el cual al inicio de la transmisión se almacena la información en buffers y cuando éstos se encuentran llenos comienza a sonar la canción de tal forma que la transmisión es ó deberá ser más rápida que la liberación de los buffers.

TX

2.2.2.4 LMP (*link manager protocol*)

Maestro

Esta capa es la encargada de establecer la configuración y el control del enlace entre dispositivos Bluetooth, incluyendo la negociación y el control de los tamaños de los paquetes de envío. También es usado para seguridad: autenticación y encriptación; generando, intercambiado y chequeando el enlace y los códigos de encriptación.

RX

Esta capa es la interpretación de la información enviada en los paquetes formados en bandabase. Los paquetes enviados para el establecimiento de la comunicación pueden ser de dos tipos, uno estableciendo un enlace ACL y el otro estableciendo un enlace SCO.

TX

Esclavo

Para un enlace ACL el tipo de paquete es DM1 que significa paquete de datos de mediana velocidad que ocupa 1 time slot para su envío. Para el enlace SCO el tipo de paquete utilizado es DV que es un paquete SCO que soporta tanto voz como datos, este por ser un paquete de SCO utiliza también un time slot.

Es importante notar que dependiendo de el nivel de sincronización para el establecimiento del enlace puede o no funcionar un paquete DV ya que dicho paquete soporta solo una fracción del paquete para datos menor al paquete DM1. Indistintamente si la comunicación es ACL o SCO al paquete que conlleva dicha información se le llama PDU ó unidad de datos de protocolo. También es importante tomar en cuenta que este procedimiento se realiza continuamente a nivel de capas bajas por lo que a nivel de aplicación existirán time slots en los que no se produce ninguna acción.

La sincronización puede tardar debido a errores en la transmisión en el medio ó por algún error o ausencia de algún dispositivo al que queramos comunicarnos. Por lo anterior existe un tiempo máximo de intentos de envíos de paquetes de 30 segundos para establecer comunicación con algún dispositivo.

2.2.2.4.1 Sesión general de enlace

La sesión de del enlace comienza desde que el dispositivo maestro realiza un llamado hasta que se rompe la comunicación. Se ha llamado sesión general porque es un caso genera y no necesariamente este sucede para todos los casos, por ejemplo no necesariamente el dispositivo maestro es el que inicia la comunicación con una solicitud pero en general así se establece el enlace Bluetooth.

El enlace comienza con la llamada al otro dispositivo, generalmente el dispositivo esclavo como se muestra en la figura, verificando que las identificaciones sean correctas, a un nivel superior se estarán asignando direcciones de dispositivos etc.

En la llamada el dispositivo maestro y el esclavo se ponen de acuerdo en los parámetros básicos para el establecimiento de la sesión como es el FHS que es la selección del código pseudoaleatorio de saltos de frecuencia para la comunicación y las direcciones OIU de los dispositivos.

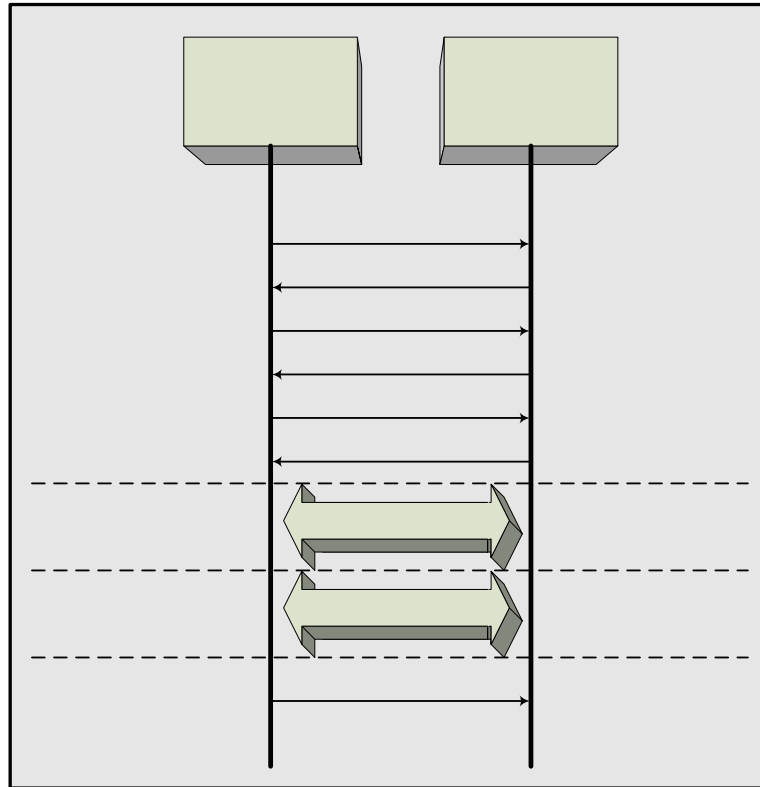
Después ya se establece la temporización y la sincronía del enlace a través de una serie de comandos enviados por el maestro y respuestas enviadas por el esclavo. Es importante notar que éstas no son solicitudes ó requerimientos ya que el dispositivo maestro impone sus condiciones de temporización sobre el dispositivo esclavo.

Después de esto se genera ya el intercambio de datos que desea el usuario, acá se define si va a ser una comunicación ACL ó una comunicación SCO y que tipo de éstas será.

Cuando el intercambio de información ha terminado se envía el comando de finalización de comunicación en donde se rompe el enlace y el dispositivo maestro se desengancha, la instrucción asociada a dicho rompimiento de enlace se conoce como LMP_detach.

A continuación se muestra gráficamente el ciclo de sesión general para un enlace.

Figura 24 – Sesión general de enlace



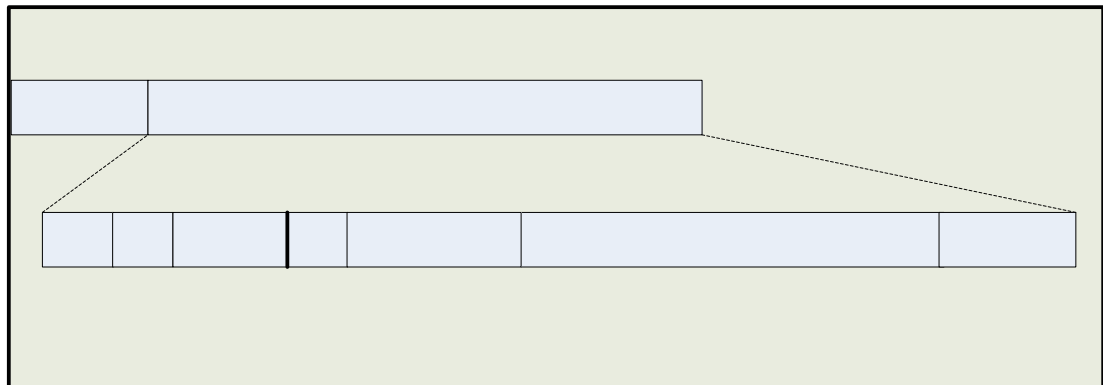
2.2.2.4.2 Estructura del paquete LMP

El paquete de Información del LMP está formado por 3 partes al igual que cualquier paquete de comunicación. Los primero 8 bits forman el encabezado de los datos y son en sí el PDU que se envía para establecer el enlace. Los últimos 16 bits son los que se utilizan para CRC para verificar los errores en la transmisión. Cuando el paquete es enviado en un tipo DM1, que generalmente en condiciones normales es así, se utiliza el código Hamming para el chequeo de errores.

El encabezado está constituido por 3 campos según se muestra en la figura de abajo, el primer campo indica el canal lógico, esto se refiere hacia que está dirigido el paquete a nivel lógico. En este caso todos los paquetes LMP van hacia el control del enlace por lo que todos tienen un L_CH = 11 para diferenciarlos.

El bit de flujo no tiene ningún significado en este caso pero por ser parte de la estructura debe de existir como un 1. Por último el largo indica el tamaño del PDU sin contar el encabezado ni el CRC.

Figura 25 – Estructura del PDU



El PDU en sí está formado a su vez por 3 partes, el identificador de transacción, el Opcode y los parámetros. El TID identifica quién inició la transacción. Cuando el TID es 0 significa que el PDU fue originado por el dispositivo maestro y cuando el TID es 1 significa que el PDU fue originado por el esclavo. Este bit es importante porque el dispositivo maestro intercambia muchos PDU con los esclavos y cuando llega un llamado nuevo es importante definirlo como nuevo y no confundirlo con alguna negociación existente.

El Opcode define entre las posibles aplicaciones de PDU existentes, es decir da un nombre de alguna de las aplicaciones existentes para facilitar el entendimiento de los parámetros. Por último están los parámetros que se encargarán de sincronizar el enlace.

2.2.2.5 L2CAP (protocolo de control y adaptación del enlace lógico)

El L2CAP es un protocolo de adaptación del enlace lógico entre los dispositivos Bluetooth. Este protocolo es tanto para la comunicación del maestro con el esclavo como viceversa. Es un módulo de software orientado a la conectividad de los dispositivos Bluetooth, este protocolo es primordialmente para la comunicación ACL mientras que la comunicación SCO la define el protocolo LMP.

Existen dos formas en las que se puede intercambiar información con el protocolo L2CAP, el primero es llamado usuario asíncrono ó UA en el cual posee retroalimentación en donde los paquetes son retransmitidos hasta que llegan correctamente. Este tipo es utilizado cuando se intercambian archivos entre dispositivos.

La segunda forma es llamada usuario isócrono ó UI en donde la integridad de los datos es importante pero también es importante mantener un nivel de latencia mínimo. Esto se da en aplicaciones de multimedia por ejemplo ó aplicaciones digitales de tiempo real como mp3.

Las funciones del protocolo L2CAP son básicamente 4, multiplexación, segmentar y reensamblar paquetes, calidad de servicio QoS y administración de grupo. Es importante notar que las aplicaciones digitales ó de datos pasan a través de L2CAP mientras solamente aquellas de alta latencia pasan por LMP y las aplicaciones de Audio pasan directamente desde la banda base a la aplicación.

L2CAP tiene la función de multiplexación debido a que debe de recibir la información de todas las aplicaciones y enviarla a donde corresponda utilizando un único formato de paquetes. Prácticamente lo que hace es que multiplexa hacia la bandabase las aplicaciones.

Las aplicaciones Bluetooth pueden generar paquetes para un MTU ó unidad de transmisión máxima mucho mayores a los que caben en un paquete Bluetooth en bandabase por lo que L2CAP es el encargado de segmentar dichos paquetes en paquetes de tamaño aceptables Bluetooth y luego de reensamblarlos.

Estas funciones del L2CAP se producen en la capa baja del protocolo Bluetooth por lo que es transparente para las capas superiores del protocolo. L2CAP puede implementar QoS incluyendo requerimientos de ancho de banda, latencia y retardo. El protocolo es el encargado de direccionar la información por lo que puede formar grupos de direcciones a los cuales debe enviar la información.

Es importante hacer notar que el envío de los paquetes que llegan a bandabase son enviados en el mismo orden en que llegan a ésta por lo que no es necesario numerar los paquetes. El protocolo también asume que la comunicación hacia la bandabase es full duplex y la comunicación a través de este es confiable gracias a la QoS establecida.

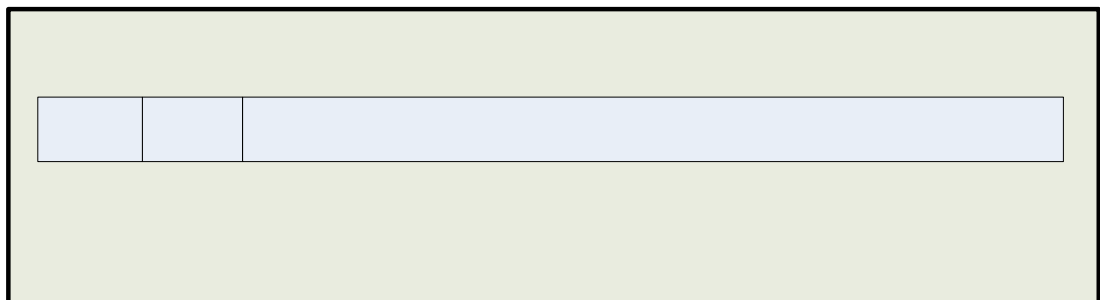
Por otra parte hay ciertas funciones que L2CAP no puede proporcionar, como es el transporte de audio a través de enlaces SCO, confiabilidad de la transmisión a través de sus propios métodos de chequeo de error, el envío de archivos de broadcast ni tampoco maneja el concepto de nombre grupal global como lo es el piconet.

2.2.2.5.1 Canales de L2CAP

El protocolo L2CAP utiliza el concepto de canales para especificar en forma de rutas los destinos. Cada punta de cada canal esta identificado por un CID ó identificador de canal a través de un valor de 16 bits. A través del CID es como L2CAP identifica las rutas a nivel lógico. Cuando se envía un paquete a través de L2CAP a un dispositivo remoto.

A través del CID es como puede manejar los 2 tipos de comunicación, la comunicación orientada ó CO y la comunicación no orientada ó CL. Cuando se produce una comunicación CO se establece un canal entre el CID del dispositivo y un CID que el dispositivo maestro asigna para dicho dispositivo, es como un puerto de salida. Cuando la conexión es CL un único CID se utiliza para enviar información a más de un usuario como un mensaje broadcst.

Figura 26 – Estructura del paquete L2CAP



En la figura 26 se muestra la estructura de un paquete L2CAP, básicamente este esta compuesto por 3 partes, el largo, el DCID y la información. El largo establece el tamaño del paquete de información enviada. El DCID es el identificador del canal de 16 bits explicado anteriormente.

2.2.2.6 SDP (protocolo de descubrimiento de servicios)

El protocolo de descubrimiento de servicios es quien se encarga de descubrir a través de la verificación los servicios que están disponibles con los dispositivos con lo cuales tiene comunicación y las especificaciones de dicho servicio con el dispositivo en particular.

La verificación de los servicios se realiza a través de PDU's de la estructura mostrada en la figura 25 y explicada en el inciso 2.2.1.2. El intercambio se da a través de una solicitud de información y una respuesta del dispositivo. No en todos los caso una respuesta es enviada y esto dependerá de la privacidad que se le haya diseñado al dispositivo.

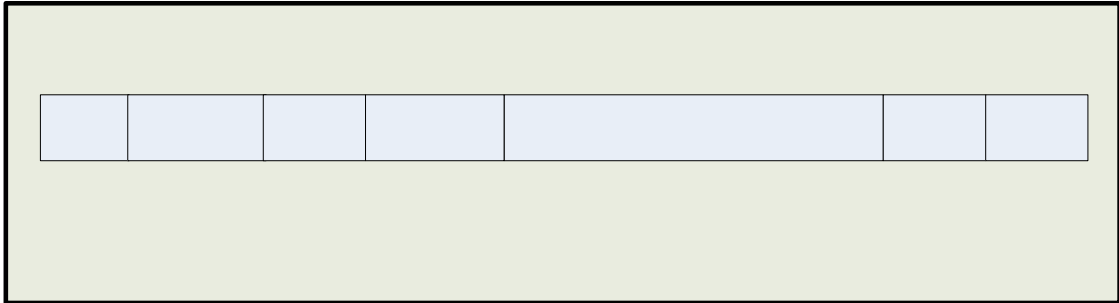
2.3 Protocolos adoptados

Existe una serie de protocolos de los cuales Bluetooth se aprovecha para el desenvolvimiento de su funcionalidad. Dichos protocolos funcionan conjuntamente con Bluetooth pero mantienen su autonomía siguiendo las bases de cada protocolo. Se hará mención de los 4 tipos de protocolos adoptados más importantes dando una breve descripción de cada uno.

2.3.1 Protocolo punto a punto PPP

PPP es un protocolo para transportar datagramas entre sobre enlaces punto a punto. Generalmente se utilizan para colgar dispositivos terminales ó para la última comunicación de un enlace, esto generalmente es el protocolo que se utiliza desde el router Terminal de los servicios de Internet hacia la central del ISP. Este protocolo fue creado en 1993 por el IETF quien lo convirtió en un estandar internacional.

Figura 27 – Estructura del paquete PPP



En general el Protocolo PPP encapsula los paquetes del protocolo a transmitir agregándole un encabezado al paquete normal del protocolo. El paquete general del protocolo PPP se muestra en la figura 27. Es importante hacer notar que al referirse paquete no es el mismo de nivel superior de bandabase presentado anteriormente sino que éste se encontraría en la capa de enlace del modelo OSI y no en la capa de red.

El byte de Inicio y el de Fin se utilizan para sincronización. La dirección es un campo de 8 bits. Después viene el campo control cuya información indica un marco de referencia. El campo protocolo indica el contenido del datagrama en el campo información y por último la información que es concretamente el datagrama.

1 byte 1 byte
Inicio Direcci

2.3.2 TCP/UDP/IP

LSB

Son los protocolos más conocidos los cuales fueron también definidos por la IETF y son los que se utilizan para conexiones a Internet y la mayoría de conexiones de área local es por ello que son tan conocidos. A continuación se explican brevemente.

2.3.2.1 Protocolo de control de transmisión TCP

TCP es un protocolo de conexión orientada end-to-end el cual soporta aplicaciones de multired. TCP transporta datos en forma de datagramas IP o paquetes para que se le de el tratamiento adecuado en la Terminal receptora. Entre otras cosas el protocolo TCP define los procedimientos de ensamblamiento de los datos dentro de una trama de transmisión, reensambla los paquetes en el orden apropiado en el receptor y solicita la retransmisión de aquellos paquetes que fueron dañados ó que se extraviaron.

Este protocolo es muy importante en redes IP ya que los paquetes pueden viajar por rutas distintas por lo que algunos paquetes se retrasan más que otros en llegar lo que provoca que lleguen los paquetes en un orden distinto al enviado. Por otro lado los paquetes pueden tomar rutas que no conllevan al destino final por lo que se extravían y por último aquellos paquetes que por motivo de ruido la información enviada se ve afectada. Para corregir todos los problemas mencionados en redes IP es importante manejar un protocolo de control que en este caso es el TCP. El protocolo permite almacenar todos los paquetes y ensamblarlos y enviarlos a una capa superior hasta que todos estén completos.

2.3.2.2 Protocolo de datagrama de usuario UDP

Este es un protocolo de transporte en donde el control del transporte lo provee el usuario a través de datagramas. Mientras el protocolo TCP ofrece una entrega segura de la información UDP se transporta en paquetes IP lo que provoca una posible pérdida de información. La diferencia entre la pérdida de información en TCP e UDP radica en que cuando en TCP se pierde alguna información ésta es retransmitida mientras que en UDP no.

En algunas aplicaciones es posible usar UDP como puede ser la presentación de datos de forma continua ó en tiempo real. Esto se puede ver en páginas de Internet en donde el servidor constantemente envía animaciones a la página lo cual se hace en UDP. Es mayormente conocido el protocolo TCP debido a que para los usuarios comunes con un pequeño ancho de banda compartido es importante asegurar una comunicación confiable.

SDP es usado para acceder a un dispositivo específico y adquirir todas sus capacidades o acceder a una aplicación específica. Esto requiere un enlace ACL para adquirir la información. SDP soporta lo siguiente:

1. Búsqueda de servicios en un dispositivo.
2. Búsqueda para descubrir servicios en base a ciertos atributos deseados.
3. Búsqueda para incrementar la lista de dispositivos existentes en los alrededores limitando después las conexiones.

En un canal L2CAP con un protocolo de multiplexación de servicios PSM es usado para intercambiar información relacionada con SDP. SDP tiene tanto funciones como esclavo y como servidor, por lo menos un servidor SDP existe en un piconet con cualquier dispositivo. Existen aplicaciones que definitivamente solo son funcionales como esclavos como es el caso de los hdsfree por lo que definitivamente no poseerán SDP de tipo servidor.

Es importante hacer notar que SDP no puede detectar simultáneamente a varios dispositivos, es decir que mientras está produciéndose un escaneo y encuentra un dispositivo no continúa el escaneo hasta adquirir toda la información de éste dispositivo. SDP no provee el acceso al dispositivo, solamente adquiere información relativa a éste, tampoco negocia los parámetros de los servicios que puede proveer. Cuando un dispositivo no puede prestar sus servicios no hay forma que el dispositivo que realiza la búsqueda se entere.

2.3.2.3 Protocolo de internet (IP)

El protocolo IP entrega datagramas entre los distintos nodos de redes a través de los routers que procesan los paquetes de un sistema autónomo a otro. Cada dispositivo está identificado por una dirección MAC la cual es asignada por la IEEE y que es único para cada dispositivo. A dichas direcciones MAC se les asigna un nombre conocido o aceptado en la red como dirección IP. Una analogía entre la dirección MAC y la IP es un domicilio el cual es el hogar de alguien (como la MAC) y es representada por una dirección catastral (IP).

Existen 2 clases de direcciones IP las públicas y las privadas. Las públicas son aquellas que pueden ser públicamente presentadas en la red mundial o Internet. Existe el segundo caso que son direcciones no aceptadas o reconocidas por la red mundial y que son para uso privado en redes LAN. Generalmente se tiene una red privada y a través de algún dispositivo se accesa a Internet, lo cual se llama hacer NAT y es el proceso en el cual temporalmente se convierte una dirección privada en pública para poder ser presentada en la red mundial.

Actualmente las direcciones IP se están agotando por lo que se desarrollo una nueva versión del protocolo IP. Actualmente Internet corre sobre el protocolo IPV4 pero se piensa llevar a la nueva versión IPV6. Actualmente universidades de todo el mundo, incluyendo la próxima integración de Guatemala, se encuentra privando la nueva versión de IPV6 para implementarla en un par de años.

2.3.3 Protocolo OBEX

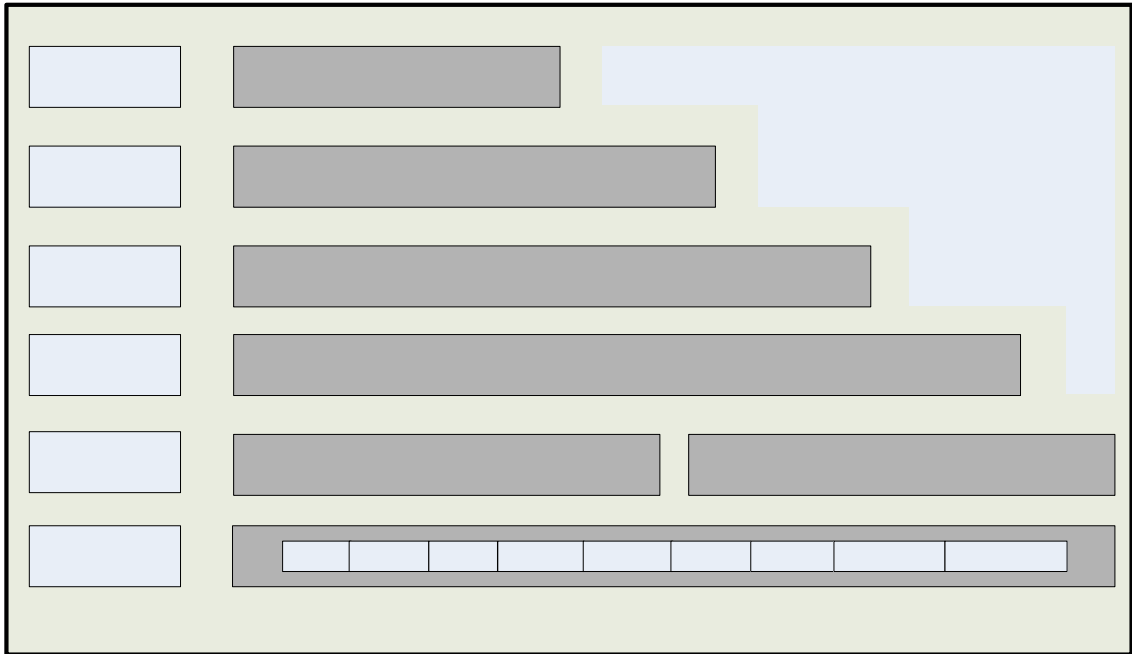
El protocolo OBEX es un protocolo desarrollado por la IrDA para el intercambio de objetos de una forma simple. Una de las aplicaciones que impulsaron al protocolo fue la presentación de objetos en forma de un explorador de carpetas remotamente. OBEX fue el primer protocolo común entre infrarrojo y Bluetooth lo que ayudó a fortalecer a ambos sin tener que competir entre ellos.

El protocolo OBEX funciona de la misma manera que trabaja el protocolo http pero de una forma más sencilla en cuando a la cantidad de funciones que puede realizar y es completamente transparente al transporte.

2.3.4 Protocolo de aplicaciones inalámbricas WAP

WAE es una aplicación creada por los proveedores de contenido para poder acceder a páginas de Internet a través de teléfonos celulares. Sin embargo para poder acceder a la página tanto el dispositivo que está solicitando la información como el proveedor debe de contar con WAP de tal forma que solamente algunas páginas especiales ofrecen el servicio.

Figura 28 – Pila del protocolo WAP



La figura 28 muestra la pila del protocolo WAP. Si podemos observar y según las capas guías que se muestran del lado derecho el protocolo WAP es prácticamente un protocolo como el de Internet solamente que es un protocolo inalámbrico en donde la capa de red entra en juego el papel de Bluetooth. Actualmente los servidores y proveedores de contenido han aumentado y las personas están utilizando cada vez más dicho servicio por lo que la adaptación de dicho protocolo en Bluetooth va a favorecer su crecimiento y tiempo de vida en el mercado.

Capa de
Aplicación

Capa de
Sesión

Capa de
Transacción

Capa de
Seguridad

3. PERFILES DE BLUETOOTH

Hasta el momento hemos hablado de la forma de comunicación de los dispositivos, sin embargo no se ha mostrado cómo se llevan a cabo las múltiples aplicaciones que Bluetooth presenta. Todo nuevo servicio parte de alguna necesidad que los consumidores expresan, las cuales generalmente guardan cierta tendencia ó parámetros similares en los que encajan. Los perfiles ayudan a proporcionar soluciones en base al protocolo Bluetooth en función de lo que ya está establecido por esfuerzos anteriores.

Un perfil habilita funcionalidad a los usuarios finales definiendo tanto el patrón de conducta del usuario como las características de comportamiento tanto del usuario como del dispositivo. Cada perfil define que elementos de la arquitectura del protocolo son necesarios para cada aplicación y como se implementarán para su uso.

Un perfil es un conjunto de normas y procedimientos los cuales sirven para manejar correctamente el protocolo y son necesarios para el perfecto entendimiento de los dispositivos, de hecho la principal razón de la existencia de los perfiles es permitir la interoperabilidad. Cada dispositivo Bluetooth tiene al menos un perfil de entendimiento con los demás dispositivo. Como cada perfil servirá para múltiples aplicaciones, la definición de éste deberá describir los múltiples escenarios bajo los cuales el protocolo puede funcionar.

Existe una diversidad de perfiles por lo que se explicarán en términos generales algunos de ellos y se tratará de explicar un poco más detalladamente aquellos más importantes, los cuales son: Perfil de Acceso Genérico ó GAP, Perfil de aplicación de descubrimiento de servicios ó SDAP y Perfil del Puerto Serial ó SPP.

3.1 Perfil GAP (Generic Acces Profile)

El perfil GAP define procedimientos genéricos relacionados a descubrir y administrar el enlace y el uso de niveles de seguridad para dispositivos Bluetooth activos. También se especifica en el perfil formatos requeridos para algunos parámetros que el usuario puede acceder. Este perfil está incluido de una u otra forma en todos los dispositivos Bluetooth ya sea en su totalidad ó únicamente parte del perfil.

Una parte muy grande de GAP está dedicada a la definición de términos que son utilizados como parte del vocabulario Bluetooth entre ellos están los códigos API ó Interfase de programación de la Aplicación las cuales son una serie de funciones primitivas tipo lenguaje ensamblador las cuales definen la configuración y el entendimiento del perfil. Un API generalmente es un nombre de alguna función ó características formado por una ó más palabras separadas por un guión bajo. Por ejemplo una parte A es definida como una llamada cuando el enlace se está estableciendo ó se inicia un procedimiento. La parte B es la llamada del dispositivo a aceptar dicho procedimiento. Inclusive cuando los dispositivos no desempeñen las tareas solicitadas deberán al menos comprender ó entender la solicitud para ver las incompatibilidades existentes.

Las principales funciones de éste perfil son las siguientes:

1. Iniciar los requerimientos por la definición y uso de nombres, valores y esquemas de codificación.
2. Definir los procedimientos generales para descubrir la identidad, nombre y capacidades de otro dispositivo Bluetooth
3. Definición general de los procedimientos de adhesión.

4. Describir los procedimientos generales usados para establecer la conexión con otro dispositivo Bluetooth.

GAP define varios modos de operación de los dispositivos Bluetooth. Este define el modo de descubrimiento, conectividad y emparejamiento de la siguiente manera:

Modos de descubrimiento

1. Nodescubierto: El dispositivo nunca entra en el estado de escaneo de consulta.
2. Descubierta limitada: El dispositivo entra en un estado de consulta limitada a través del código de acceso limitado.
3. Descubrimiento general: El dispositivo responde al código de acceso de consulta general.

Modos de Conectividad

1. Noconectado: El dispositivo nunca entra en estado de escaneo de llamada.
2. Conectado: El dispositivo entra periódicamente en estado de llamada.

Modos de Emparejamiento

1. Noemparejado: El dispositivo solicita el emparejamiento a través del comando API LMP_in_rand y la respuesta recibida es negativa ó denegado el acceso a través del comando API LMP_not_accepted.

2. Emparejado. El dispositivo responde con el comando de aceptación LMP_accepted.

Es importante hacer notar que estas definiciones son precisas y dan al diseñador de aplicaciones instrucciones específicas en el estado operativo al cual es dispositivo piensa acceder. Además de los modos el perfil recomienda ciertos períodos de tiempo para cada modo de operación. El siguiente paso del perfil es definir los procedimientos de modo idle y se definen de la siguiente forma:

1. Consulta general: Este modo es usado por dispositivos que se convierten de forma automática en un estado de acceso sin limitantes. Cuando una consulta general es iniciada, el dispositivo debe estar en el estado de consulto por al menos un período de 10.24 segundo.

2. Consulta limitada: Este modo provee la capacidad de descubrir dispositivos que están hechos para ser descubiertos por un tiempo límite de al menos 30.72 segundos, a través del uso del código de acceso de consulta limitada ó el uso del código de acceso de consulta general. El dispositivo al cual se hace la consulta debe estar en un estado de consulto por lo menos 10.24 segundos.

3. Descubrimiento del nombre: Este modo consulta y provee el nombre del dispositivo Bluetooth.

4. Descubrimiento del dispositivo: Este modo combina la consulta y el proceso de consulta de nombre en una sola secuencia de operación.

5 .Enganchamiento: Este modo crea una relación entre los dos dispositivos Bluetooth a través de la creación e intercambio de claves de enlace. Un enganchamiento dedicado es creado cuando el enlace es formado para crear e intercambiar las claves de enlace entre los dispositivos. El enganchamiento puede también involucrar la inicialización de procedimientos de alto nivel en cuyo caso es llamado enganchamiento general.

Cada dispositivo Bluetooth tiene la descripción de el perfil GAP en donde se encuentra una tabla de los requerimientos. La tabla define los requerimiento que conforman el perfil a través de las siglas siguiente M = obligatorio, O = opcional, C = condicional, X = excluido y N/A = no aplica. Estas siglas son utilizadas en todos los perfiles Bluetooth. Por último GAP define los procedimientos para establecer el enlace ACL, seleccionar el canal L2CAP y la conexión entre las aplicaciones.

3.2 Perfil SDAP (*service discovery application profile*)

Este perfil define la capacidad de los dispositivos Bluetooth de buscar otros dispositivos Bluetooth dentro de la zona. SDAP trabaja a través del protocolo SDP explicado en la sección 2.2.1.6. El perfil esta basado en el modelo cliente/servidor en donde le cliente solicita cierta información hacia el servidor y éste dependiendo de los permisos envía información ó permite la búsqueda de información dentro del sistema.

El protocolo SDP establece un proceso que de forma automática busca los servicios disponibles en los alrededores, sin embargo SDAP es el perfil para utilizar SDP por lo que este es habilitado por el usuario y habilita una extensa búsqueda de servicios de una forma más general. Este perfil se desarrolló de esta forma para ahorrar energía y solamente habilitar dicha búsqueda cuando el usuario busca algo concreto y que se produzca de una forma automática, es decir que utilice SDP y el usuario no tenga que configurar nada.

El perfil SDAP especifica las funciones que se llevaran a cabo por ambos dispositivos que participan en el descubrimiento de servicios. La primera es el dispositivo local llamada parte LocDev quien es el dispositivo que inicializa el procedimiento y tiene tanto SDAP del dispositivo que inicio la búsqueda como el SDAP del dispositivo cliente y el SDP de éste último. La segunda parte es el dispositivo remoto llamada RemDev que responde a los servicios que puede ser proveídos a través del protocolo SDP del dispositivo remoto.

Dependiendo del contexto, la función LocDev y RemDev pueden eventualmente intercambiar roles ó asumir diferentes roles, dependiendo de sus necesidades y de sus capacidades.

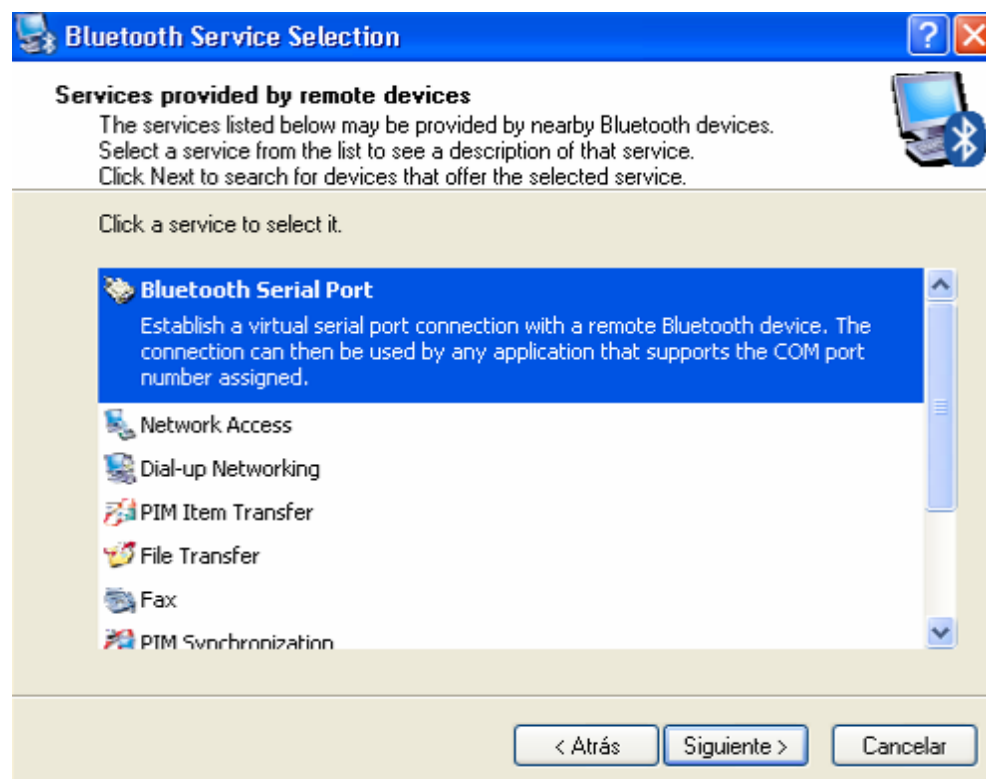
Antes que los servicios puedan ser buscados ó escaneados, el LocDev y el RemDev deben crear un enlace ACL y realizar todos los requerimientos de autenticación y encriptación. De cualquier modo se puede observar que esto es independiente de quién es el maestro y quién es el esclavo y por consiguiente el LocDev ni el RemDev están ligados al dispositivo maestro ni al dispositivo esclavo. Por otro lado la autenticación y la encriptación no son obligatorios en el perfil por lo que dependerá de la implementación del mismo.

El SDAP responde a nivel de programación al nombre SrvDscApp y es quien habilita de forma flexible la manera en que los servicios son descubiertos por el dispositivo LocDev. Este realiza todo lo que este a su alcance para que en el momento de que el dispositivo intenta acceder ó solicita la información el dispositivo remoto RemDev ya está enviado la información sobre los servicios que puede proveer, es decir se omiten ciertos protocolos con el fin de que en los 10.25 segundos de búsqueda el dispositivo local adquiera la información necesaria de todos los demás dispositivos.

Algunos dispositivos LocDev para mejorar los tiempos de respuesta solamente buscan aquellos que concretamente están buscando. La Figura 29 un cuadro de diálogo de Windows en donde se pregunta previo a la búsqueda que servicio es el que presta el dispositivo que se desea Buscar. Los servicios que el cuadro de diálogo muestra son aquellos que el dispositivo conectado a la PC puede soportar y que para el caso particular de la Figura 29 corresponde a las aplicaciones de una interfase USB Bluetooth.

Entre los servicios que se pueden soportar se describe a continuación una breve lista con su respectiva explicación.

Figura 29 - Selección de Servicios Bluetooth



1. Puerto Serial Bluetooth: Este servicio establece una comunicación inalámbrica serial transparente para la PC del medio, es decir que funciona exactamente como si fuera una aplicación de puerto serial a través del puerto Com1 pudiendo soportar todas aquellas aplicaciones que se manejaban a través del de la interfase RS232.

2. Acceso a Red. Este servicio establece la conexión inalámbrica de red para el dispositivo local con algún remoto de red LAN.

3. Dial Up: Establece servicios de conexión a través de alguna PSTN ó telefonía móvil conectándose hacia un servidor, como puede hacerse a través de módem y de hecho puede realizarse a través de algún módem con interfase inalámbrica Bluetooth.

4. Transferencias de PIM: Es el envío de información personal ó PIM que contienen datos, contactos, notas que hasta cierto punto son de carácter personal.

5. Transferencia de Archivos: A través de una aplicación OBEX se establece el intercambio de archivos entre dos dispositivos a través del intercambio de información entre carpetas.

- 6 Headset: Establece una comunicación entre la computadora y un headset. El headset puede ser cualquier dispositivo que maneje voz en tiempo real.

3.3 Perfil SPP (Serial Port Profile)

El protocolo SPP establece todos los procedimientos necesarios para que dispositivos Bluetooth con una interfase virtual serial por cable funcionen. Precisamente el éxito de este perfil es hacer creer que la interfase física es un cable serial RS232 con todos sus componentes físicos y de software completamente compatibles. Este protocolo usa prácticamente en su totalidad el protocolo RFCOMM por lo que será más útil explicarlo en éste capítulo que en el capítulo anterior.

El perfil utiliza la nomenclatura de DevA como el dispositivo iniciador del enlace serial y DevB como el que acepta el enlace. Esta nomenclatura se utiliza únicamente en el setup y no necesariamente corresponde como se aplique ó se entienda el enlace real. El protocolo RFCOMM es designado para ser independiente de que equipo CTE sea y cual equipo DCE sea y soporta tanto configuraciones DTE-DCE como DTE-DTE.

El perfil SPP tiene como un requerimiento obligatorio el que utilice al menos un time slot completo, por lo que en esta configuración se asegurará una velocidad mínima de 128 Kbps, sin embargo también puede utilizar paquetes multislots para manejar velocidades mayores. A pesar de que la función normal del puerto serial es punto a punto, éste perfil permite manejar configuraciones de piconet punto-multipunto e inclusive manejar scatternet.

3.3.1 Protocolo RFCOMM

El protocolo RFCOMM emula un puerto serial sobre L2CAP basado en el estándar ETSI TS 07.10. Dicho emulador proporciona las señales necesarias para el perfecto funcionamiento de puerto serial, la cuales son:

1. Común ó tierra
2. Transmisión Tx
3. Recepción Rx
4. Solicitud de envío (RTS)
5. Libre para envío (CTS)
6. Datos listos (DSR)
7. Terminal de datos lista (DTR)
8. Detección de la portadora de datos (DCD)
9. Indicador de tono (RI)

El protocolo permite una conexión directa entre dos dispositivos Bluetooth e inclusive permite la conexión de dos dispositivos que no son precisamente Bluetooth, como pudiera ser una PC, sobre un medio inalámbrico.

RFCOMM puede proveer hasta 60 emuladores abiertos de puerto serial sobre un solo dispositivo Bluetooth pero dependerá de las limitaciones que el fabricante haya diseñado. Estos puertos pueden ser multiplexados en una sola implementación RFCOMM para una conexión punto a punto de un piconet.

Mientras que en un puerto serial normal a través de un conector RS232 el flujo de control se basa en señales de hardware mediante los distintos cables en RFCOMM esto es mucho más difícil debido a que si se ve en la figura 16 éste pertenece a capas de nivel superior sobre la capa L2CAP. De aquí que el control de flujo de datos dependerá de el control existente en L2CAP y en la interfase host. El flujo puede ser controlado de una mejor forma a través de comandos de control enmascarados como datos sobre las capas de nivel inferior.

Una segunda desventaja del protocolo emulador sobre un sistema cableado es el tiempo de respuesta ya que mientras en un cable RS232 puede enviarse paralela la información en el protocolo RFCOMM nó por lo que el retraso puede ser sensible y se sienta una transmisión ligeramente más lenta. Para mejorar el tiempo de respuesta en cada conexión se establecen ciertos números de tramas para la sincronización, de tal forma que no se saturen los buffers y se aprovechen los tiempos de espera para señales de control.

Para establecer una conexión de puerto serial Bluetooth tanto el dispositivo DevA como el DevB deben estar de acuerdo para manejar un puerto serial virtual. Para iniciar el enlace Dev A usa SDP para descubrir la existencia de RFCOMM y sus parámetros como los baudios de la comunicación. Mientras se ajusta la configuración necesaria RFCOMM inicia una sesión en el canal asignado por L23CAP y de ésta forma se establece una comunicación de puerto serial.

A nivel de protocolo el DevA deberá estar habilitarse para iniciar y el dispositivo DevB deberá de habilitarse para aceptar la sesión pero ambos dispositivos deberán tener la capacidad de terminar la sesión.

Para esta comunicación es obligatorio un canal CO en el L2CAP y un canal CL es excluido para uso del SPP. Solamente es dispositivo DevA podrá hacer una solicitud de conexión. Es importante hacer énfasis que al igual que LocDev y RemDev esto dependerá de quién inicie la conversación y no de quién es el maestro ó el esclavo. Opcionalmente se puede establecer QoS pero es importante notar que un dispositivo que se encuentra en un estado de bajo consumo de potencia podrá regresar a un estado activo en menos de 500 ms por lo que la calidad de servicio dependerá de esto.

Entre las características más sobresalientes del perfil SPP mencionamos las siguientes. Este perfil requiere una encriptación obligatoria en el administrador de enlaces tanto para el dispositivo DevA como el DevB. Las implementaciones de un consumo bajo de potencia se dejarán a discreción del diseño de cada dispositivo. En el nivel de control de enlace no son permitidos paquetes auxiliares.

3.4 Otros perfiles importantes

A continuación se muestran en que consisten algunos otros perfiles que el SIG ha establecido.

3.4.1 Perfil de conexión a redes vía Dial Up.

El perfil define un Gateway como un dispositivo que provee acceso a la red pública y a una terminal de datos como el dispositivo que usa el servicio de dial up. La aplicación de dicho perfil es principalmente para interconexión con Internet vía telefonía móvil, de tal forma que el acceso se puede realizar desde cualquier ubicación.

3.4.2 Perfil de acceso a LAN

Este perfil define un acceso a LAN usando el protocolo PPP a través del protocolo RFCOM. PPP es un protocolo que actualmente es ampliamente usado en redes cableadas, sin embargo dicho perfil no establece el uso concreto de ningún protocolo de red. Los dispositivos que utilizan este perfil son los puntos de acceso a redes LAN ó *access point*.

3.4.3 Perfil de FAX

Especifica procedimientos enfocados al envío de mensajes de fax. Este perfil requiere de autenticación y encriptación de forma obligatoria. Este perfil tiene las mismas características básicas que la conexión a redes vía Dial up descrito en el inciso 3.4.1. Este perfil no soporta llamadas de voz a diferencia del perfil antes descrito.

3.4.4 Perfil de *headset*

Este perfil especifica perfiles que aplican tanto a *headset* como a computadoras, celulares, *gateway* de audio las cuales implementan características de voz bidireccional. Es necesario una modulación CVSD monofónica si se usa un enlace SCO. Solamente podrá existir una conexión de audio entre el dispositivo local y el remoto.

3.4.5 Perfil de telefonía inalámbrica

Este perfil establece los procedimientos para el diseño de un teléfono inalámbrico para líneas fijas cuyo protocolo de comunicación es Bluetooth. De esta forma existirá una base conectada a la línea fija la cual se comunicará con el auricular a través de Bluetooth. El perfil obliga por razones obvias a que se establezcan desde ambas localidades tanto la recepción como el envío de llamadas, esto es por si existiera una extensión que pudiera o no ser inalámbrica. Debe de soportar tanto marcación por tonos como por pulsos.

3.4.6 Perfil de interconexión

Este perfil en conjunto con el anterior define como dos teléfonos celulares que poseen la tecnología bluetooth se pueden interconectar entre ellos sin tener necesidad de pasar a través de la PSTN ó otro proveedor de telefonía. Deberá establecerse un enlace SCO con una modulación CVSD para el audio.

3.4.7 Perfil genérico de intercambio de Objetos

Este perfil trabaja con el SPP y forma la trama para la transferencia de objetos entre dos dispositivos Bluetooth. Un objeto es definido como un pequeño archivo de datos. El perfil solamente soporta enlaces punto a punto. Debe de estar disponible la encriptación y la autenticación obligatoriamente y dependiendo del nivel de seguridad que el usuario desee se deberá poder habilitar ó deshabilitar el mismo. Básicamente éste perfil puede dividirse en 2 perfiles subsecuentes, el de envío de objeto y el de transferencia de archivos.

3.4.8 Perfil de envío de objetos

Este perfil habilita al dispositivo el depositar información en la bandeja de entrada de otro dispositivo Bluetooth. Este protocolo es utilizado para enviár contactos, tarjetas de presentación, calendarios, mensajes ó notas en tantos formatos como el dispositivo lo permita. El dispositivo que envía la información es identificado como servidor push y el otro dispositivo como cliente push. Esta operación nunca deberá ocurrir de forma automática. El servidor deberá ser capaz de recibir múltiples objetos en una misma sesión OBEX, pero esto no es obligatorio en el perfil para el cliente.

3.4.9 Perfil de transferencia de archivos.

Este perfil extiende el escenario anterior al intercambio de archivos entre 2 dispositivos. El perfil obliga a que el dispositivo se conecte al otro y pueda buscar archivos de sistema y abrir y ver archivos y carpetas, también transferir datos de un dispositivo a otro y manipular archivos y carpetas como crear mover y borrar en el otro dispositivo. Cada dispositivo deberá tener un fólde para el intercambio de la información. Este perfil obliga que se pueda enviar y extraer archivos obligatoriamente, sin embargo el envío y extracción de carpetas es opcional.

3.4.10 Perfil de sincronización

Este perfil define la capacidad de 2 dispositivos de interconectarse e intercambiar información PIM. Este perfil se basa en el modelo de comunicación móvil infrarroja IrMC de la IrDa.

4. DISEÑO DE UNA RED BLUETOOTH

El protocolo Bluetooth fue desarrollado con el objetivo principal de facilitar la accesibilidad de redes PAN, por lo que la cobertura de dicho protocolo fue restringido a 10 m. Sin embargo, como veremos más adelante es posible ampliar dicha cobertura con la ayuda de repetidores a rangos inclusive de hasta 100 m, lo cual permitirá que pensemos en una red LAN con dicho protocolo.

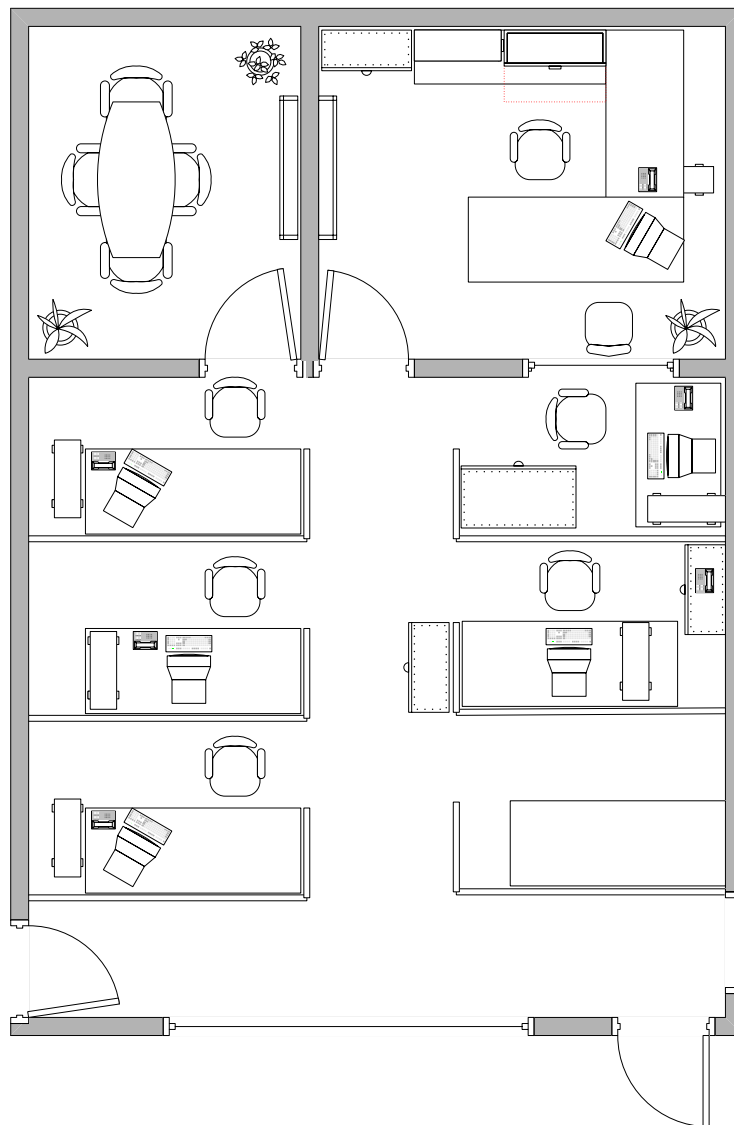
De cualquier forma, tanto para una red PAN como para una red LAN es necesario definir ciertos parámetros a cumplir para el buen funcionamiento de dichas redes. Básicamente se ha dividido en diseño de una red Bluetooth en 3 partes

1. Bases para el diseño, son aquellas características propias de las necesidades y de las posibilidades del ó de los usuarios que conforman la red.
2. Estructura de la red, establecerá la topología en la cual se conectarán los distintos dispositivos a la red y los componentes necesarios propios de la transmisión y comunicación.
3. Hardware y software, es el proceso de selección de los equipos y programas necesarios para que la red pueda funcionar según la topología y las necesidades previstas en los puntos anteriores.

Al terminar el diseño de dichas redes podremos determinar y delimitar las aplicaciones que en la red existirán. Existirá una última restricción que dependerá exclusivamente de las condiciones que en Guatemala se presentan las cuales son independientes al protocolo.

Determinar todos los posibles diseños de redes es demasiado ambicioso, por lo que se dejarán únicamente las bases para el diseño y se concentrará la atención principalmente en redes locales pequeñas para compartir aplicaciones y archivos y para tener un acceso compartido a Internet. Durante éste capítulo nos enfocaremos en dichas aplicaciones dentro de una pequeña oficina con características similares a las de la 30.

Figura 30 – Planta de Oficina con interconexión Bluetooth



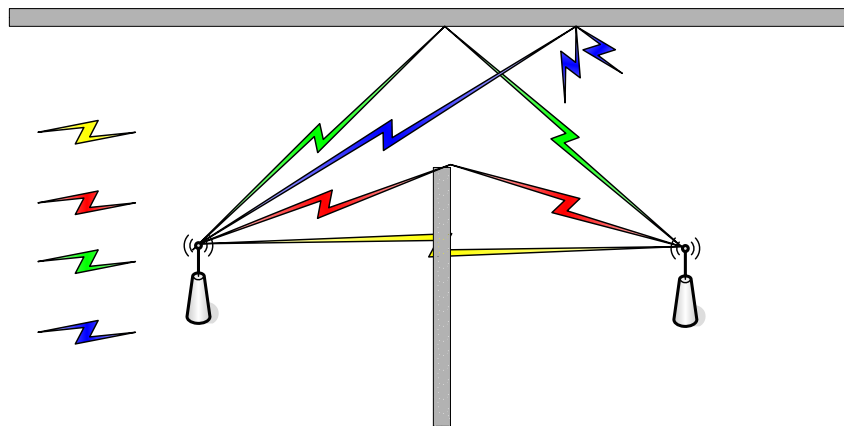
4.1. Bases para el diseño

Como ya se mencionó antes, las bases para el diseño son aquellas características propias de las necesidades y del medio físico del ó de los usuarios que conforman la red, que definirá la estructura de la red. Se entenderá por el medio físico como las características del recinto en el cual existirá la red en mención. Por otro lado las necesidades importantes para el diseño de la red son la cantidad de dispositivos que tendrán acceso a la red; ya que debemos considerarlo así y no por usuarios debido a que un mismo usuario podrá tener más de 1 dispositivo en la red y las prestaciones que cada dispositivo necesita de dicha red.

4.1.1. Características del recinto

Las características del recinto son importantes principalmente por el patrón de pérdidas al que será expuesta la señal radiada por cada dispositivo Bluetooth. Dicha potencia se verá afectada principalmente por 4 fenómenos muy conocidos que son la difracción, la reflexión, la dispersión y la transmisión directa a través de medios sólidos. En la figura 31 mostramos de una forma sencilla los efectos que se dan en la propagación de las señales de radio.

Figura 31 – Mecanismos de propagación



Los diferentes mecanismos de propagación tendrán una diferenciación en el receptor y que la potencia recibida no será igual en todos los casos. En general la potencia recibida va a ser función de la Potencia transmitida P_t , de la ganancia del la antena transmisora G_t , de la ganancia de la antena receptora G_r , de la frecuencia ó longitud de onda λ que en nuestro caso la frecuencia media es de 2.45 GHz lo que equivale a 0.122 m, y por último la distancia que separa a los dispositivos.

En general la potencia recibida se relaciona de la siguiente forma:

$$P_r = P_t G_t G_r \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2$$

En dicha ecuación se expresa la potencia del receptor en función de las características de ambas antenas, pero para nuestros fines nos interesa saber las pérdidas de potencia que sufre por los distintos mecanismos de propagación. Lo mejor es expresar dicha relación en escala de dB y aplicando los teoremas de los logaritmos se puede expresar de una forma más clara, esto puede ser consultado de una forma más profunda en Antenas and Radiowave Propagation de Robert Collin. Eliminando lo inherente a cada antena, es decir eliminando P_t , G_t y G_r , encontramos lo que se conoce como patrón de pérdidas PL y es representado bajo la siguiente ecuación:

$$PL = 20 \log \left(\frac{4\pi}{\lambda} \right) + 10\eta \log(d)$$

En donde se ha agregado el símbolo η que es el exponente de la distancia d que en la ecuación de la potencia radiada es 2. El hecho de representar a η de una forma independiente radica en que en el espacio vacío la atenuación o la pérdida de potencia que decrece con el cuadrado de la distancia, pero esto no es válido cuando la señal atraviesa varios medios por lo que dicho valor puede aumentar.

Si observamos la fórmula de PL podemos darnos cuenta que la primera expresión para nuestro caso es prácticamente una variable constante cuyo valor es aproximadamente de 40.26, por lo que para saber la potencia que se pierde en nuestro recinto será función únicamente de la distancia d y de las características del medio η .

En general la distancia d va a ser un valor que conozcamos previo al diseño de nuestra red en función de las características geográficas de nuestras necesidades. Por lo que lo importante a determinar es el valor η al cual se apegamos nuestro recinto. El cálculo de dicho valor se hace a través de la medición RSSI ó indicación de la fuerza de la señal recibida, partiendo de un par de antenas de las cuales sabemos sus características. Robert Morrow en su libro Bluetooth Operation and Use muestra una tabla que define los distintos valores de η dependiendo de algunas circunstancias. Dichos valores se muestran a continuación en la tabla 4.1. Dicha tabla también incluye la desviación estándar que se encontró entre los valores de potencia utilizados para el cálculo de dicha tabla.

Tabla 4.1 – Valores promedio de η

Ubicación	η	σ (dB)
Oficina abierta	2.2	8.7
Oficina con paredes móviles	2.4	9.6
Oficina con paredes fixed	3.0	7.0
Industrias metálicas con propagación LOS	1.6	5.8
Industrias metálicas con propagación non-LOS	3.3	6.8
En el mismo nivel (promedio)	2.8	12.9
A través de niveles continuos (promedio)	4.2	5.1
A través de niveles separados un nivel (promedio)	5.0	6.5
A través de niveles separados dos niveles (promedio)	5.2	6.7

Basados en la tabla 4.1 podemos calcular el rango de cobertura que podemos alcanzar con Bluetooth con ciertas antenas previamente definidas. Para fines prácticos es más conveniente pensar que con las características de nuestro recinto definiremos las antenas necesarias para poder diseñar una red adecuada.

Para el caso ejemplo de diseño que mostramos en la figura 30 partimos del hecho que la oficina en su mayor parte está conformada por cubículos por lo que tomaremos los valores de η de la tabla correspondiente a paredes móviles. Para dicho caso el exponente es de 2.4. Por otro lado es de esperar que la potencia del transmisor sea de 0 dBm por regulaciones del SIG, es su defecto sería 20 dBm para dispositivos de mayor potencia. También la sensibilidad mínima del receptor debe ser de -70 dBm. Por último asumiremos una ganancia de 0 dB tanto para el transmisor como para el receptor por simplicidad y partiendo que utilizaremos los mismos componentes en el receptor como en el transmisor. Por lo tanto obtendríamos

$$-70 = -40 - 10 * 2.4 * \log(d)$$

$$d = 17.78 \text{ m}$$

Este valor es válido cuando la geografía permite que exista una propagación hasta cierto punto directa, pero en la mayoría de casos se deberá atravesar cierta cantidad de medios físicos y el atravesar los objetos representa pérdidas adicionales. A continuación presentamos la tabla 4.2 con algunos factores de atenuación típicos obtenidos por Robert Morrow con pruebas experimentales de la misma forma que la tabla 4.1

Tabla 4.2 – Factores de atenuación típicos

Medio	Pérdida (dB)
Paredes fijas	3
Paredes móviles	1.4
Puertas	2
Divisiones metálicas	5
Ventanas	2
Paredes exteriores	10.0
Columnas	20.0
1 nivel	13
2 niveles	19
3 niveles	24
4 niveles ó mas	27

Retomando nuestro ejemplo supondremos que la oficina principal será el transmisor y las demás serán los receptores remotos. Podemos ver que de la oficina principal deberá pasar ya sea a través de la puerta, la ventana ó en el peor de los casos de la pared fija existente, por lo que habrá que sumar en promedio 2 dB de pérdidas a la salida de la oficina. Después de esto deberá atravesar las paredes móviles que forman los cubículos y en el caso promedio serían 2 paredes móviles es decir la pérdida será de $2 \times 1.4 \text{ dB} = 2.8 \text{ dB}$. La nueva distancia será:

$$-70 = -40 - 10 * 2.4 * \log(d) - 2 - 2.8$$

$$d = 11.22 \text{ m}$$

Solamente resta considerar en éstos cálculos el efecto de las ondas que se propagan por difracción, reflexión y dispersión. Todas las anteriores representarán el caso de análisis en el desfase existente. Si ambas señales se encuentra perfectamente alineadas se ganaría cierta potencia por la suma de las señales, pero en caso de estar en contratase se puede llegar a tener una pérdida de potencia significativa. El rango está aproximadamente de 5dB a -20 dB.

Para nuestro caso pudiéramos asumir de una forma optimista 0 dB. Debido a que para nuestro ejemplo no tenemos divisiones metálicas ó superficies estrictamente reflectoras como espejos se espera que no se tenga un pérdida adicional por reflexión. Sin embargo si pensamos un poco más negativamente podemos asumir una pérdida de 1.2 dB, lo cual nos da que el rango de cobertura es de 10m.

4.1.2. Número de usuarios

Es importante definir la cantidad de usuarios que se tendrán en la red. Como se ha explicado anteriormente la cantidad máxima que soporta un piconet es de 7 usuarios. Esto en realidad es una limitante ya que en pruebas realizadas en el ejemplo de la red que intentamos explicar de la figura 30 se descubrió que no es posible que un dispositivo esclavo pueda sincronizarse con dos dispositivos al mismo tiempo.

El problema práctico radica en determinar quién es el dispositivo maestro cuando se parte de una conexión de 2 únicos dispositivos. El dispositivo que solicita la conexión ó el que descubre los servicios disponibles en el dispositivo remoto es el que se determina como dispositivo maestro.

Sin embargo es posible conectar más de siete dispositivos y formar una Scatternet lo cual se logra cuando se enlazan 2 dispositivos maestros. En teoría podríamos conectar de ésta forma una cantidad ilimitada de dispositivos, sin embargo existe una limitante en relación a la utilización del espectro utilizado como se mencionó en el capítulo 1.

Para el ejemplo que hemos hecho mención observamos que en la figura 30 existen únicamente 6 usuarios lo cual es ventajoso debido a que 1 será el maestro (qué en este caso por conveniencia se ubicaría en la oficina principal) y 5 esclavos en la red.

4.1.3. Prestaciones necesarias

Es importante determinar qué clase de servicios deberá tener la red que se implementará. Esta característica dependerá exclusivamente de las operaciones que se desarrollen ó del tipo de trabajo que se realice. Pudiera darse casos muy sencillos que en realidad la conexión no pasará de aplicaciones de audio como música mp3 ó aún más sencillo aplicaciones de voz cuya latencia es importante y la integridad no tanto como un servicio de intercomunicadores a través de PC's.

Para nuestro ejemplo particular de la figura 30 podemos pensar principalmente en 2 aplicaciones funcionales en ésta oficina debido a que se manejan datos de clientes corporativos, especialmente proyectos de telefonía y datos. En esta oficina existen clientes cuyos proyectos toman más de un área y la influencia de las distintas áreas es importante, por lo que tener información de los clientes en las distintas áreas solo se podrá realizar compartiendo información. Por lo que nuestra primera función ó servicio de red es el intercambio de archivos entre las distintas computadoras.

El segundo pero no menos importante es el proveer acceso a internet a todos los usuarios bajo la responsabilidad y conexión directa de un solo usuario. Esto se hace para tener mayor facilidad y control sobre la utilización del acceso a internet.

El siguiente paso es determinar el ancho de banda necesario para cada aplicación. Para aquellas aplicaciones de recursos compartidos a través de red como bases de datos muy grandes ó sistemas de facturación ó de inventario es muy importante que se tenga una buena velocidad, sin embargo 256 Kbps ó 512 Kbps es suficientemente rápido para soportar dichas aplicaciones. Aquellas aplicaciones que requieren un mayor ancho de banda son las que ofrecen servicios multimedia y para la mayoría de los casos una velocidad de 721 Kbps es suficiente para poder tener una calidad aceptable.

Para nuestras aplicaciones, un intercambio de información ó datos compartidos no requiere altas velocidades, con un ancho de 64 Kbps ó 128 Kbps es suficiente para tener una velocidad de transferencia de datos aceptable. Para las aplicaciones de internet se necesita un mayor ancho de banda, sin embargo no es necesario realmente más allá de 256 Kbps, lo cual es bastante rápido para la mayoría de usuarios en Guatemala debido a que se conectan a través de dial up, en el cual el ancho de banda máximo del modem es de 56 Kbps y en el mejor de los casos se obtiene una velocidad de transferencia de datos de 14 Kbps.

Con lo anterior podemos concluir que para los fines del ejemplo bluetooth puede proveer los servicios necesarios en la velocidades requeridas.

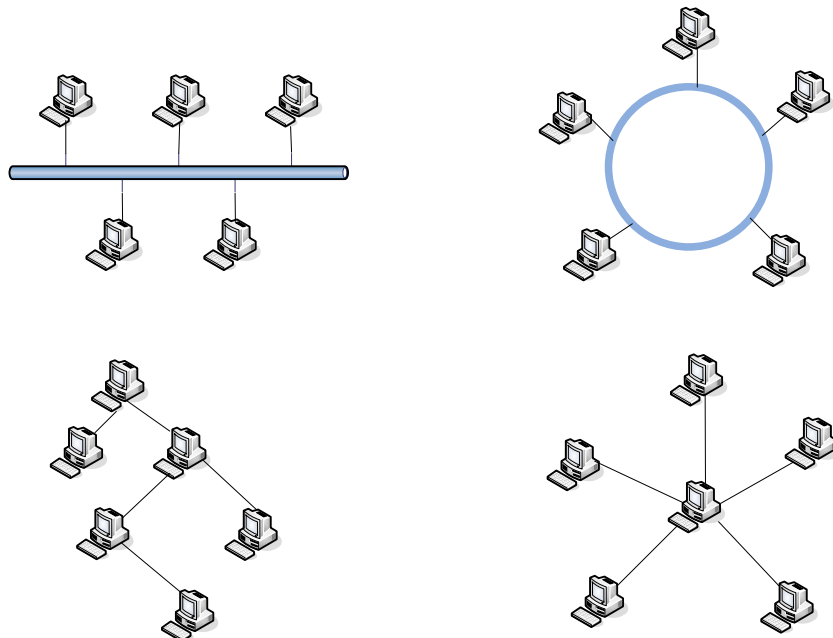
4.2. Diseño de la estructura de la red

Teniendo ya bien definida la red que queremos falta únicamente cómo vamos a interconectar nuestros DTE para poder alcanzar nuestros fines. Para ello es importante definir principalmente dos puntos: La topología de nuestra red y el equipo a utilizar.

4.2.1. Topología de la red

A través de los años ha existido distintas formas de interconectar los DTEs y dependiendo de la configuración física existen distintas topologías. Para el caso de las redes Bluetooth la topología dependerá exclusivamente de la configuración y/o del equipo empleado. En la figura 32 se muestran las topologías de redes conocidas.

Figura 32 – Topologías de red



4.2.1.1. Topología de bus

Esta topología corresponde en las redes físicas a un único medio de transmisión lineal al cual se interconecta los DTEs. En ella se permite la transmisión full duplex en donde cada estación puede enviar y recibir datos a cualquier estación que se encuentre interconectada al bus. Para Bluetooth esta topología se daría a través de configuración dependiendo cómo se interconecten, inalámbricamente, lo DTEs.

4.2.1.2. Topología de anillo

En esta topología la red los DTEs funcionan como si existiera una serie de repetidores que reciben la información y la retransmiten al siguiente DTE. La interconexión física forma un anillo. La ventaja de esta topología es que si en algún punto falla la comunicación automáticamente esta queda como si fuera una topología de bus, lo cual permite mantener una red y los servicios de la red mientras se repara la falla. Lo anterior representa redundancia de medio y en la redes por cables se logra a través de un cable adicional hacia DTEs distintos mientras que en Bluetooth lo logramos a través de la comunicación inalámbrica de cada DTE con 2 DTEs cercanos.

4.2.1.3. Topología de estrella

En la topología en estrella todos los puntos remotos se conectan a un punto central y de este se comunican a los demás DTEs que se encuentren conectados a dicho punto. Esto es la configuración clásica de los puntos de acceso ó access point inalámbricos, tanto de Bluetooth como de las demás tecnologías.

4.2.1.4. Topología de árbol

La topología de árbol es en la parte básica similar a la topología de bus. La diferencia radica en que los DTEs conectados directamente al bus pueden estar conectados a otros equipos ó DTEs. Debido a estas ramificaciones se le conoce como topología de árbol. Lo importante de tomar en cuenta en esta topología es que para que puedan darse ramificaciones el equipo debe de tener dicha cualidad.

4.2.2. Necesidad de repetidores

En algunos casos la distancia a la que deseamos comunicarnos es mayor a la que la que podemos cubrir. La mayoría de veces es debido a que las pérdidas en el recinto son demasiadas y la necesidad de repetidores más que una opción es una obligación para que la comunicación transcurra con un nivel de errores aceptables.

Los dispositivos Bluetooth están categorizados en 3 tipos distintos en función de la potencia radiada. En función de la potencia radiada se sabe el rango en comunicación LOS que cada dispositivo puede alcanzar. En la tabla V se muestran las 3 clases de dispositivos existentes. Esto nos ayudará a determinar si es ó no necesario el uso de repetidores. La mayoría de dispositivos Bluetooth están diseñados para trabajar en clase 2 sin embargo es de mucha utilidad el poder ampliar la cobertura con dispositivos de clase 1.

Una desventaja que hay que hacer notar es que actualmente no se cuenta con una gama amplia de repetidores por lo que el uso está restringido a la compatibilidad de los existentes, de lo cual la algunos no garantizan.

Tabla 4.3 – Clases de potencia de dispositivos Bluetooth

Clases de Potencia de Dispositivos			
Clase	Max Potencia de Salida	Min Potencia de Salida	Rango
1	100 mW (20dbm)	1mW	~100 m+
2	10 mw (4dbm)	0.25mW	+10m
3	1mW (0dbm)	0.25mW	1m

4.2.3. Necesidad de *routers*

Bluetooth es una tecnología de Broadcast por lo que el uso de routers no es indispensable para la mayoría de aplicaciones, sin embargo debido a que cada dispositivo puede tener un máximo de 7 esclavos en algunas aplicaciones el uso de un router es ideal para ampliar la red.

En realidad los servicios de puntos de acceso ó access point suministran en la mayoría de los casos la forma ideal de rutear la información entre los distintos puntos cuando se cuenta con más de 7 usuarios. Es por ello que actualmente en el mercado no se encuentran routers en sí, pero si se encuentran dichas funciones asociadas a un access point ó a un hub. En la figura 33 se muestran algunos ejemplos de los dispositivos Bluetooth.

Figura 33 – Dispositivos Bluetooth

Router



USB DLINK DBT-120



4.3. Selección de *hardware* y *software*

Las características del Hardware quedan delimitadas por los puntos anteriormente. Para los transmisores y receptores en función de la distancia requerida podremos determinar la clase de dispositivos necesario. Además es importante definir la sensibilidad del receptor para los fines que hayamos diseñado anteriormente.

La selección del equipo es la conclusión del proceso de diseño y es aquí donde la interacción de lo teórico con lo práctico converge para llevar una solución real al problema.

Una desventaja y factor de selección del hardware es el costo de los dispositivos. Actualmente esto es una ventaja ya que los dispositivos de tecnología Bluetooth son de bajo costo y en tanto la aceptación aumente los costos disminuirán apreciablemente.

Una segunda desventaja es la accesibilidad de los dispositivos. Actualmente gracias al Internet se pueden obtener dispositivos e varios países del mundo remotamente, pero esto presenta la limitante en cuanto a la asesoría y la garantía de los dispositivos. Por otro lado el hecho de importar productos implica cargos adicionales, por lo que lo mejor es comprar los dispositivos localmente.

4.4. Aplicaciones

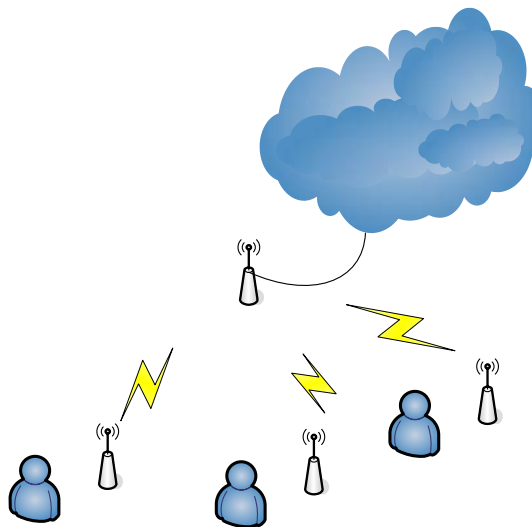
En esta sección mostraremos la red diseñada en una oficina con las características de la figura 30. En la sección 4.1 definimos cuales son las características previas para el diseño y los dos servicios que se quieren implementar son acceso a Internet e intercambio de datos. Se mostrará a continuación como debe de realizarse dicha implementación como 2 servicios independientes.

4.4.1. Acceso a internet

Se comenzará con definir la topología que se utilizará en la red. El sentido de esta aplicación es conectarse al ISP a través de una única computadora y ésta será la encargada de distribuir el Internet a las computadoras restantes. La topología que se seleccionará para esta aplicación es la topología en estrella debido a que el acceso a Internet será igual para todas las computadoras.

Como se ha seleccionado una topología en estrella lo que necesitamos es un access point conectado a la computadora que tiene acceso Internet ó directamente al acceso a Internet. Además de ello necesitamos en las computadoras remotas dispositivos Bluetooth para PCs. Debemos recordar las características mínimas de dichos dispositivos analizados para el peor de los casos en la sección 4.1, por lo que necesitamos dispositivos como mínimo de clase 2.

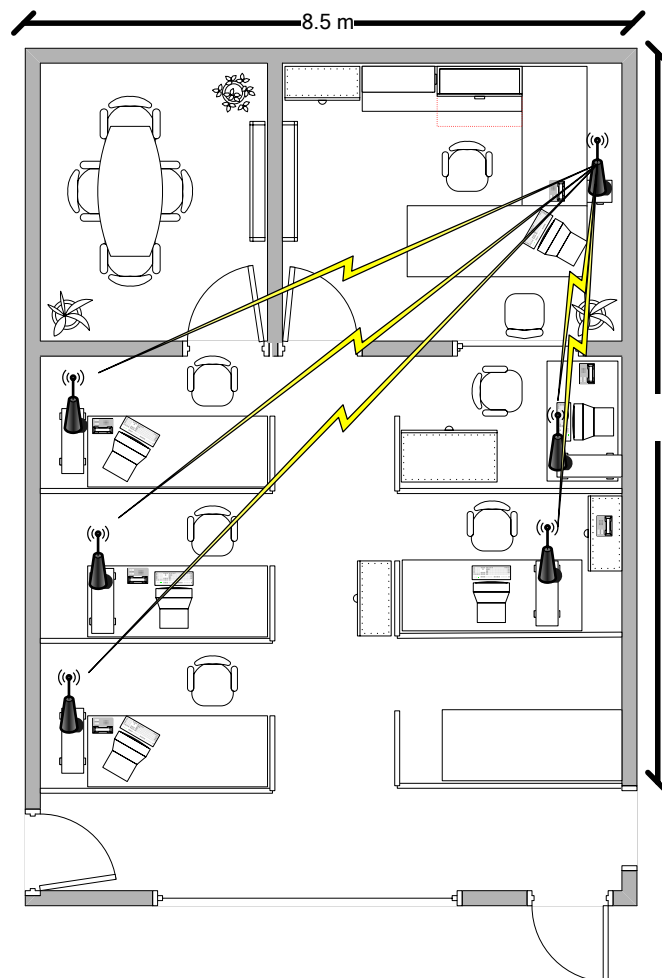
Figura 34 – Topología en estrella de conexión a Internet



En realidad para el punto central podemos pensar en dispositivos de clase 1, pero en realidad debido a las características de nuestra red no es necesario y en busca de una solución económica no lo haremos, aunque en realidad es bueno considerar dicha opción para futuros diseños en donde pudiera existir un crecimiento del número de usuarios y/o de la región geográfica en donde los usuarios se encuentran.

Para esta aplicación se seleccionó el dispositivo DLINK DBT-900AP el cual se utilizó como el nodo central de la topología en estrella. Se escogió este dispositivo debido a su bajo costo de aproximadamente \$80, confiabilidad y soporte de la casa fabricante y debido a que las características técnicas cubren las mínimas según el análisis de la sección 4.1.

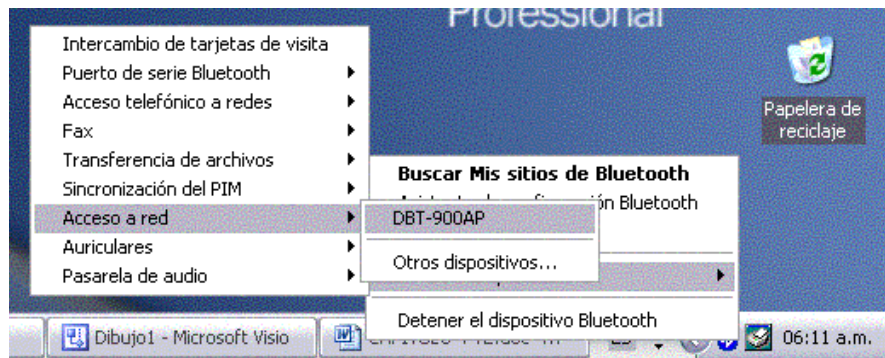
Figura 35 – Red de acceso a internet



Para los usuarios remotos se escogió por las mismas razones el DBT-120. La hoja de datos técnica de ambos dispositivos puede ser consultada en www.dlink.com. La figura 35 muestra como se implementó la red.

La configuración de la red obedece a cualquier procedimiento existente actualmente para redes cableadas lo que para la mayoría de los casos es muy sencillo y se puede consultar cualquier bibliografía sobre redes LAN. Cada dispositivo viene identificado por una dirección MAC, por lo que la asignación de direcciones IP no es problema. La configuración general de es muy sencilla, para habilitar de una forma rápida los servicios de red solamente hay que dar clic derecho en el menú de inicio rápido, seleccionar Conexión rápida / acceso a red / DBT – 900 AP como en la figura 36. Si el dispositivo no existe se debe seleccionar otros dispositivos y actualizar el listado.

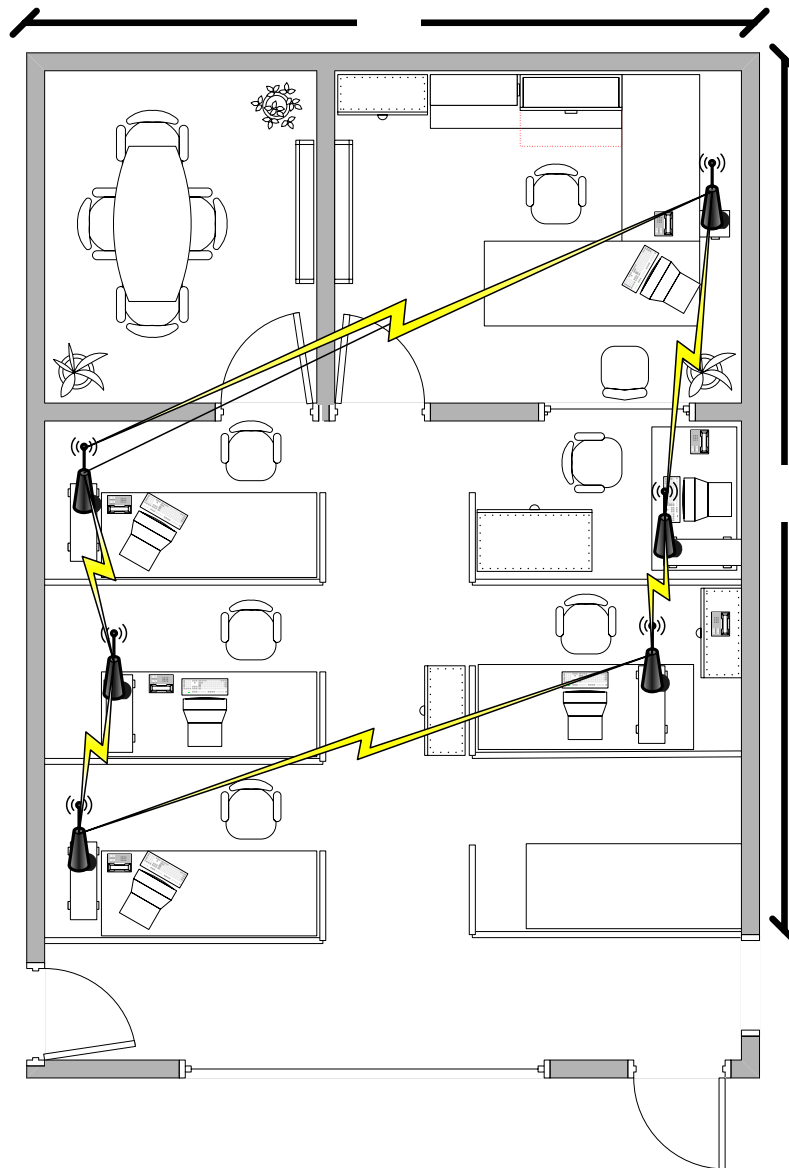
Figura 36 – Acceso a red



4.4.2. Intercambio de datos

En realidad para esta segunda aplicación las condiciones no cambian, sin embargo para éste caso lo mejor será utilizar una topología en anillo. Para esta topología se utilizarán los mismos dispositivos seleccionados para el servicio de Internet dado que el recinto en el cual se va a implementar la red es el mismo para ambos casos. La Figura 37 muestra de que manera se implementó la topología físicamente en el recinto.

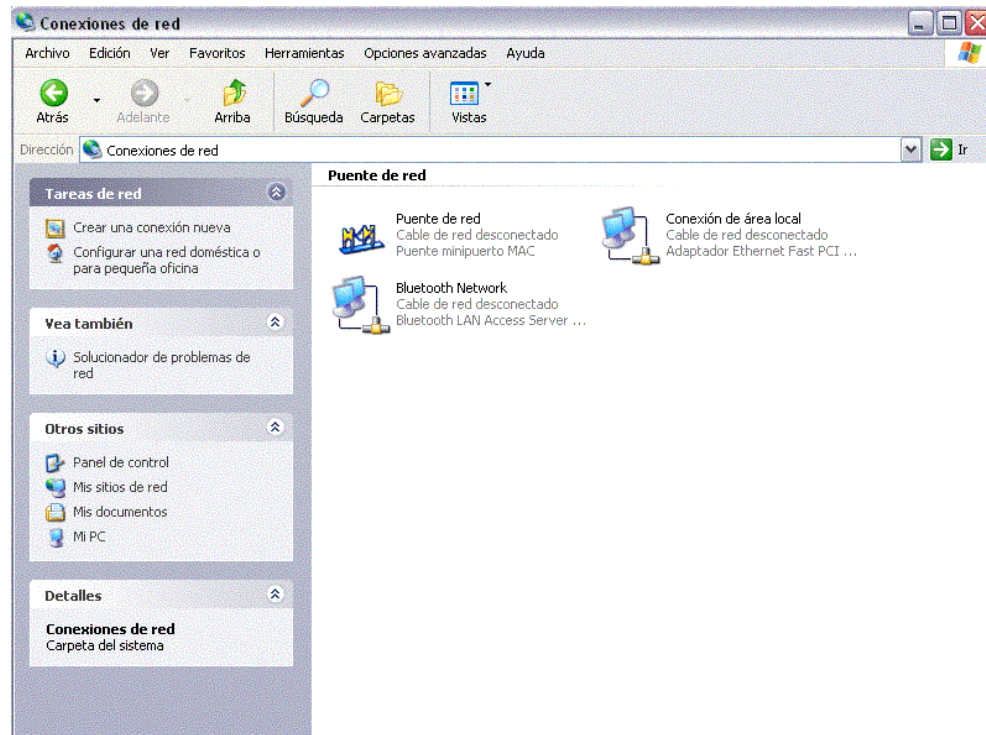
Figura 37 – Red para intercambio de datos



La configuración de la red para este caso cumple también con los procedimientos normales para la implementación en redes cableadas. La conexión rápida que se mostró en el inciso anterior es válida para esta configuración. Se debe de notar que la única diferencia es que en la oficina principal se eliminó el acces point dejando únicamente un DBT-120.

Quizá la configuración más difícil de esta topología es interconectarse a 2 máquinas y que ésta se pueda conectar a la siguiente. Para lograr esto se debe de crear un puente entre las dos conexiones de red existente. Para ello Conexiones de Red de Windows hay que seleccionar las 2 conexiones dando click derecho sobre ambas conexiones de red con el botón Control presionado. Luego hay que hacer clic izquierdo y seleccionar crear puente.

Figura 38 – Puente de red



Después de eso se creará un puente entre ambas conexiones y aparecerá un icono extra donde se pueden configurar las características del puente como se muestra en la figura 38.

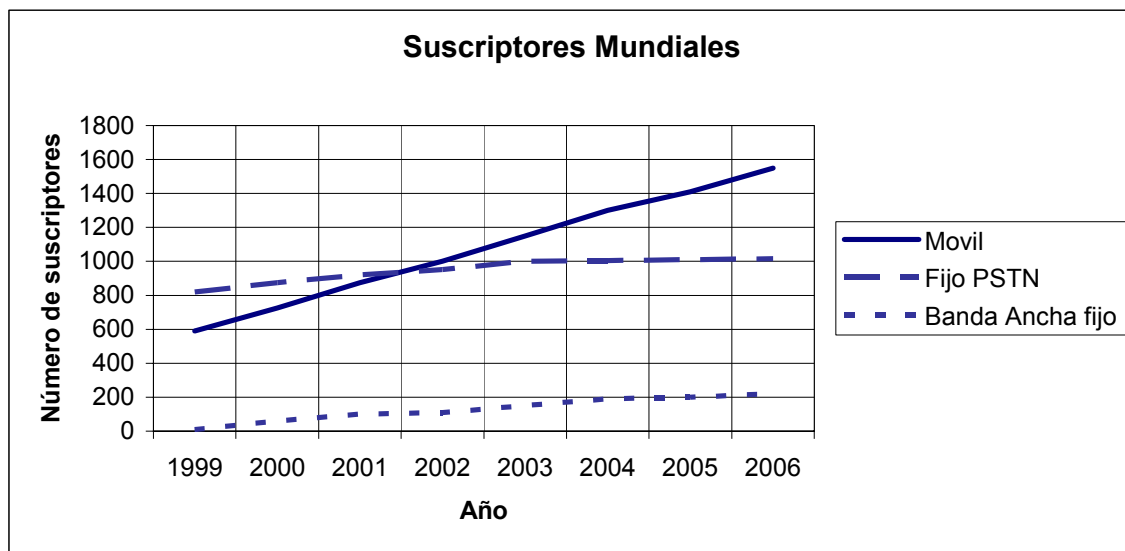
4.5. Condiciones actuales en Guatemala

Las condiciones actuales para el avance o aceptación de una tecnología novedosa depende principalmente, el mercado en sí y las regulaciones que pudieran existir sobre los productos utilizados por lo clientes. A continuación se explica el mercado existente en Guatemala en el ámbito que concierne a Bluetooth y la regulación que es importante hacer notar es el uso del espectro radioeléctrico.

4.5.1. Mercado

En general a nivel mundial ha habido un incremento tanto de los servicios de banda ancha como de la telefonía móvil dejando el incremento de la PSTN a un nivel mucho menor. La figura 39 muestra una gráfica de los suscriptores actuales y un pronóstico del crecimiento hacia el 2006 en donde se muestra los crecimiento de los servicios de banda ancha fijos y los de telefonía móvil.

Figura 39 – Suscriptores de servicios de telecomunicaciones



En Guatemala el comportamiento es acorde a dicha gráfica. Desde la privatización de los servicios de telefonía la competencia ha aumentado y existen actualmente varios proveedores de servicios de telefonía móvil y aún más de proveedores de servicios de internet de banda ancha. Con la implementación de la tecnología GSM en las telefónicas de Guatemala el aumento de los móviles ha tenido un crecimiento acelerado y los usuarios por lo tanto exigen servicios que la tecnología puede prestar. Actualmente se pueden ver comúnmente ringtones y algunas páginas WAP a los que se puede tener acceso.

El mismo crecimiento de la telefonía móvil y la versatilidad y comodidad de la movilidad pronostican una necesidad de soluciones inalámbricas a muy corto plazo. De hecho actualmente la tecnología Bluetooth como sistema de comunicación para handsfree es muy conocida y aceptada por el mercado Guatemalteco.

El apareamiento de la telefonía IP ó VoIP promete la aparición de servicios tanto de voz como multimedia a través de sistemas de Banda Ancha a un costo más accesible y con lo que la exigencia de sistemas de redes cada vez mejores y más cómodos se vuelve necesario y en algunos casos el acceso inalámbrico es más que una comodidad una necesidad. Bluetooth actualmente es la tecnología líder para PANs por lo que la aceptación y el crecimiento en el mercado Guatemalteco es prácticamente inminente.

4.4.2 Atribuciones del espectro radioeléctrico

En Guatemala las normas técnicas se basan en las normas establecidas por la UIT, según se mencionó en el Capítulo 1 en el inciso 1.2. En general el espectro se clasifica en espectro para uso libre, para uso determinado, para uso oficial, para usos experimentales y el espectro reservado. La ley Guatemalteca establece que se requiere concesión por parte de la SIT para el uso, aprovechamiento ó explotación de alguna banda de frecuencia en el territorio internacional.

La concesión de las bandas de frecuencia se hacen median licitaciones las cuales son concursos para una banda específica mediante la cual se realiza una subasta y se otorga a aquella empresa, entidad ó persona individual que dará mejor uso a dicha banda y representará mejores beneficios para el estado.

La banda de 2.4 GHz es una banda de frecuencia de uso libre según las especificaciones de la UIT; sin embargo en Guatemala esta contenida en las bandas para uso determinada ó Bandas de frecuencia reguladas como se conocen en la ley de Telecomunicaciones. En este punto encontramos el primer conflicto en el uso de la banda de frecuencia ya que a nivel mundial dicha banda es conocida como ISM y en Guatemala no se da el trato, privilegio y control que dicha banda.

El decreto 94-96 de la Ley de Telecomunicaciones establece el uso de las bandas de frecuencias reguladas, sin embargo en ellas no especifica que sucede con el uso doméstico de dicha banda. Actualmente la banda de 2.4 GHz se encuentra concedida a la empresa de Telecomunicaciones Totalcom y dicha empresa puede disponer del uso de dicha banda para su beneficio en tanto le convenga.

La ley sanciona a quien sin autorización de usufructo de la banda cause interferencia en dicho espectro de frecuencia. En el caso del uso de Bluetooth es prácticamente imposible que dicha tecnología interfiera en el correcto funcionamiento de dicha banda ya que es una tecnología de corto alcance. Por el contrario si pudiera interferir los sistemas de comunicación de Totalcom en el correcto funcionamiento de Bluetooth, sin embargo esto actualmente no sucede ya que Totalcom utiliza dicha frecuencia en las afueras de la ciudad para establecer enlaces de datos vía radio.

Por lo tanto mientras sea para uso doméstico y de corto alcance, que de hecho así es, la tecnología podrá operar sin ningún problema.

CONCLUSIONES

- 1 Bluetooth es una tecnología de corta cobertura que tiene un enfoque comercial para redes de área personal (PAN) en la que actualmente es líder en el mercado a nivel mundial.
- 2 Bluetooth puede coexistir con otras tecnologías inalámbricas como WiFi e infrarrojo ya su campo de aplicación es distinto por lo que no son competencia sino complemento.
- 3 El rango de cobertura de Bluetooth en línea vista para dispositivos de clase 2 puede variar de 15 a 30 metros, dependiendo de la antena, sin embargo, para la mayoría de estructuras en donde no existe línea vista varía de los 6 a los 10 metros.
- 4 Actualmente, el mercado en Guatemala exige soluciones de comunicación inalámbricas por lo que el crecimiento de la tecnología Bluetooth es tá asegurado por un par de años. Actualmente la demanda de dicha tecnología va en aumento en especial para aplicaciones de audio.
- 5 A pesar que la frecuencia ISM ha sido otorgada en usufructo por el Gobierno, el uso de la tecnología Bluetooth no está limitada legalmente, ya

que, la ley de telecomunicaciones únicamente sanciona aquellos casos en los que se causa interferencia.

- 6 A pesar que el protocolo Bluetooth es versátil y puede ser utilizado para cualquier aplicación, actualmente, el protocolo de descubrimiento de servicios solamente reconoce aquellos previamente definidos y registrados en el SIG.
- 7 El funcionamiento de una red de área local con dispositivos Bluetooth USB como es funcional y eficiente para grupos pequeños.
- 8 La técnica de saltos de frecuencia FHSS que utiliza Bluetooth permite utilizar el mismo ancho de banda para varios usuarios en donde para la mayoría de veces la interferencia es imperceptible.

RECOMENDACIONES

- 1 Utilizar el protocolo Bluetooth con los dispositivos que se encuentran en el mercado, actualmente, para aplicaciones de redes LAN, únicamente, para redes temporales y no para redes fijas.
- 2 Utilizar el protocolo Bluetooth, solamente para aplicaciones de uso doméstico, ya que, existe riesgo de tener problemas legales por el uso de la frecuencia ISM.
- 3 No conectar más de cuatro dispositivos al mismo maestro para aplicaciones que necesiten una baja latencia.
- 4 Fomentar el uso de Bluetooth como una opción para aplicaciones temporales para aquellas personas que presentan alta movilidad .

BIBLIOGRAFÍA

- 1 Gratton, Dean A. ***Bluetooth profiles the definitive guide.*** 1a. ed. Estados Unidos: Prentice Hall, 2003. 569 pp.
- 2 Muller, Nathan J. ***Bluetooth demystified.*** 1a ed. Estados Unidos: McGraw-Hill, 2001. 396 pp.
- 3 Morrow, Robert.. ***Bluetooth operation and use.*** 1a ed. Estados Unidos: McGraw-Hill, 2002. 567 pp.
- 4 De León, Gustavo. **Fundamentos de redes.** 2a ed. Guatemala: Inttelgua, 2004. 154 pp.
- 5 Cruz Lesbroz, Javier. **Generalidades de la RTPC y sus servicios.** 1a ed. México: Telecomunicación Corporativa TELCOR, 2004. 36 pp.
- 6 Gonzalez, Gustavo. **Generalidades de las redes de datos y sus servicios.** México: Telecomunicación Corporativa TELCOR, 2005. 26pp.
- 7 Cruz Lesbroz, Javier. **Comunicaciones inalámbricas.** 2a ed. México: Telecomunicación Corporativa TELCOR, 2003. 205 pp.
- 8 Taub, Herbert y Schilling, Donald L. ***Principles of communication systems.*** 2a. ed. Singapore: McGraw-Hill, 1986. 759 pp.
- 9 Collin, Robert E. ***Antenas and radiowave propagation.*** 1a. ed. Singapore: McGraw-Hill, 1985. 508pp.