

# Tecnología Bluetooth para Sistemas de Monitoreo en Dispositivos PDA 1a. Parte

M. en C. Juan Carlos Herrera Lozada  
Profesor del CIDETEC  
M. en C. Jacobo Sandoval Gutiérrez,  
Ing. Raziél Morón Corrales  
CICATA LEGARIA

**E**l estándar de comunicación *Bluetooth* es una norma abierta que posibilita la conexión inalámbrica (*Wireless*) de corto alcance para voz y datos entre dispositivos móviles y/o periféricos de uso común, a través de una banda disponible a nivel global (2.4 GHz) y mundialmente compatible.

En este documento se da una breve revisión al protocolo *Bluetooth* y se vislumbran las perspectivas sobre dicha tecnología; lo anterior en aras de conseguir una comunicación de esta naturaleza como objetivo de un proyecto de investigación para controlar un módulo *Bluetooth* mediante un microcontrolador, de manera que podamos comunicar un dispositivo PDA con éste.

---

## ANTECEDENTES

---

A finales del siglo XX, una de las más importantes revoluciones tecnológicas se relaciona con la computadora personal, que ha ido de la mano con otras innovaciones, como lo son los teléfonos celulares y los asistentes digitales personales (PDA) o computadoras de bolsillo, entre otras. Los teléfonos celulares y

los PDA han tenido un auge de uso muy importante en todo el mundo, debido a su movilidad y portabilidad, aunado a la transmisión de datos en las comunicaciones y el intercambio de información.

En las áreas de las tecnologías de la información y de las comunicaciones, se han aprovechado las innovaciones en transceptores, circuitos integrados y antenas, así como los nuevos algoritmos convertidos en software, para construir dispositivos cada vez más eficientes, robustos y a menor precio, dirigiendo los esfuerzos hacia la comunicación inalámbrica.

La clave de todas estas nuevas herramientas es el desarrollo de las nuevas tecnologías de *Transmisión Inalámbrica de Datos (DoW - Data over Wireless)* que implican la utilización del espectro electromagnético en determinadas frecuencias reguladas por normas internacionales y adoptadas en cada país por las instancias correspondientes; en México se regula a través de la *Comisión Federal de Telecomunicaciones (COFETEL)*.

El uso que se da a cada protocolo depende en gran medida de la demanda de datos y la distancia de transmisión; por esta razón existen diferentes protocolos que se complementan para realizar tareas sin cables. En consecuencia, podemos incrementar la productividad de

manera cuantitativa en diferentes actividades, desde tareas en nuestra vida diaria hasta procesos industriales y de servicio.

---

## SERVICIOS DE TRANSMISIÓN INALÁMBRICA

---

A continuación, se procederá a comentar algunos aspectos formales de la comunicación sin cables en servicios *DoW*.

## TELEFONÍA CELULAR

El sistema de telefonía celular, también conocido como sistema de telefonía móvil, está conformado por dos grandes bloques: una red de comunicaciones (red de telefonía móvil) y las terminales (teléfonos móviles) que permiten el acceso a dicha red. Este tipo de servicio se clasifica por la capacidad de datos que transmite en un enlace de comunicación.

La primera generación de telefonía móvil surgió en 1979, basada en el uso de radioteléfonos comerciales, caracterizándose por ser completamente analógica y estrictamente para voz. La calidad en los enlaces de comunicación era muy pobre, con una velocidad de 2400 baudios. En cuanto a la transferencia entre celdas, ésta era muy imprecisa ya que denotaba una baja capacidad, basada en *FDMA (Frequency Division Multiple Access*

– Acceso Múltiple por División de Frecuencia) y además, la seguridad no existía. La tecnología que trató de estandarizar y predominar esta generación fue *AMPS (Advanced Mobile Phone System – Sistema Avanzado de Telefonía Móvil)*.

La segunda generación surgió en 1990, siendo de carácter digital y permitiendo transmitir datos y voz, además de ofrecer el servicio de *roaming*. A esta generación se le denominó *TDMA (Time Division Multiple Access – Acceso Múltiple por División de Tiempo)* que trabaja en los 800 MHz, con 30 KHz a 14.4 Kbps y que a su vez se subdivide en dos variantes principales: *Global System Mobile (GSM – Sistema Global Móvil)* el más conocido por la cantidad de usuarios a nivel mundial, trabaja en 800, 1800 y 1900 MHz con canales de 200 KHz a 14.4 Kbps y 8 ranuras de tiempo; *CDMA-One (Code Division Multiple Access – Acceso Múltiple por División de Código)* que trabaja en 800 y 1900 MHz con un canal de 1.25 MHz, usando de 9 a 14 canales para alcanzar hasta 115.2 Kbps.

Cabe mencionar que existe un intermedio entre la segunda y la tercera generación, aportando principalmente el servicio *General Packet Radio Services (GPRS – Servicio General de Paquetes de Datos por Radio)* que soporta desde 56 hasta 114 Kbps,

La tercera generación se caracteriza por la convergencia de voz y datos con acceso inalámbrico a Internet suministrando una alta tasa de transmisión de datos para aplicaciones multimedia, principalmente música, video (movimiento y videoconferencia) e imágenes. Esta generación alcanza hasta 144 kbps, donde se encuentran los servicios *CDMA 2000-1x*, *1xEV*, *EDGE (Enhanced Data Rates for Global Evolution – Transferencia Mejorada de*

Datos para una Evolución Global), *W-CDMA* y la propia 3G, que en un futuro cercano se piensa alcanzará velocidades de hasta 384 kbps.

### REDES INALÁMBRICAS

La movilidad y la seguridad de información cada vez se vuelven más imprescindibles para los usuarios, por esta razón se han desarrollado redes de datos que cubran estos requisitos.

*Wireless - Fidelity (Wi-Fi – Fidelidad Inalámbrica)* es una tecnología basada en el estándar *IEEE 802.11* de tercera generación, que trabaja en un espectro de onda de 2.4 GHz y con velocidades de 11 Mbps y 54 Mbps, estableciendo una área de cobertura de alrededor de 300 metros. Por tratarse de una señal de microondas, esta puede verse afectada por diversos factores y obstáculos en su camino, tales como paredes muy gruesas, edificios, techos de metal, etc., razón por la cual existen dispositivos para mantener y mejorar la recepción de la señal.

Los subestándares de Wi-Fi que actualmente se están explotando en el ámbito comercial son: *802.11b* y *802.11g*. El primero de ellos, en uso desde 1999, actualmente es el más extendido; opera en la banda de los 2.4 GHz y alcanza una velocidad máxima de 11 Mbps. El segundo subestándar, surgió en 2003, sobre la banda de los 2.4 GHz y con una velocidad máxima de 54 Mbps.

Para la transmisión y recepción de información, *Wi-Fi* utiliza la técnica *Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM – División Multiplexada de Frecuencia Ortogonal)* y para la seguridad de la información utiliza una encriptación *Wired Equivalency Privacy (WEP – Equivalencia de Privacidad Cableada)* basada en el algoritmo de encriptación *RC4*.

Esta tecnología nos proporciona una ventaja muy grande de movilidad y transmisión de datos seguros, sin necesidad de instalación ni configuración especial sobre los equipos que deseen intercambiar grandes cantidades de datos.

Otro servicio de red *wireless* es *Wi-Max*; esta tecnología se basa en el estándar *IEEE 802.16*, y puede alcanzar una velocidad de 100 Mbps en un canal con un ancho de banda de 28 MHz en el rango de 10 a 66 GHz, y de 70 Mbps en bandas menores a 11 GHz, con una cobertura de 40 a 70 km, utilizándose principalmente para enlaces punto-multipunto; es decir, para conectar una red a distancia con un proveedor de servicios de Internet, siendo una alternativa a las conexiones de cable o fibra óptica.

### IDENTIFICACIÓN INALÁMBRICA POR RADIO FRECUENCIA

La identificación de productos en las cadenas de suministros estaba controlada en su totalidad por los populares códigos de barras; en la actualidad dicha tarea es complementada por los sistemas de Identificación por Radio Frecuencia (*RFID – Radio Frequency Identification*) que utilizan un sistema de localización inalámbrico para automatizar los procesos de identificación. Su rango de trabajo está estandarizado bajo las normas EPC 125 kHz a 134 kHz, 13.56, 860, 960 MHz y 2.45 GHz, y con alcance hasta 50 metros.

### TECNOLOGÍA INFRARED (IR)

Esta tecnología ha sido ampliamente utilizada, en aplicaciones tales como controles remotos, PDA, computadoras portátiles, entre algunas otras. La comunicación es fácil cuando los dispositivos envían datos, y solamente deben contar con un puerto IR, sin necesidad de cables con adaptadores especiales, siendo

esté el objetivo de IR; sin embargo, tiene limitantes por la velocidad de transmisión, así como la enorme desventaja de que los puertos deben encontrarse en línea de vista entre sí, para poder completar la comunicación.

**BLUETOOTH**

Varios de los principales fabricantes de computadoras y telecomunicaciones (*Ericsson, Nokia, IBM, Toshiba*), formaron el Grupo de Interés Especial en la Tecnología Bluetooth (*Bluetooth SIG - Special Interest Group*) el 20 de mayo de 1998, con el objetivo de crear un estándar libre para comunicación inalámbrica de corto alcance, normalizado sobre el protocolo *IEEE 108.15*.

El nombre dado al estándar fue tomado de un rey danés del siglo X llamado *Harald Blaatand* (*Bluetooth* en inglés), debido a que él simbolizó la unidad entre diferentes grupos de personas.

**PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS**

*Bluetooth* utiliza una comunicación omnidireccional, es decir, la señal se propaga igualmente en todas direcciones, de manera similar a la tecnología *Wi-Fi*, tal como lo muestra la comparación de la **Figura 1**. Por lo tanto, esta comunicación no solamente se limita a un enlace punto a punto, sino que también se pueden

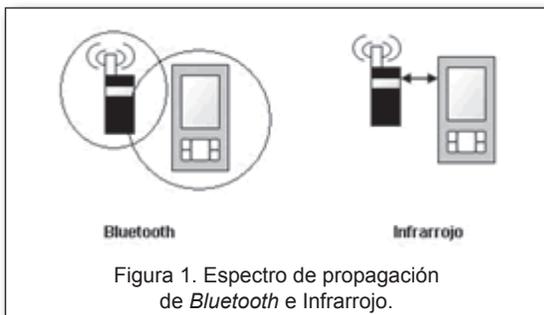


Figura 1. Espectro de propagación de Bluetooth e Infrarrojo.

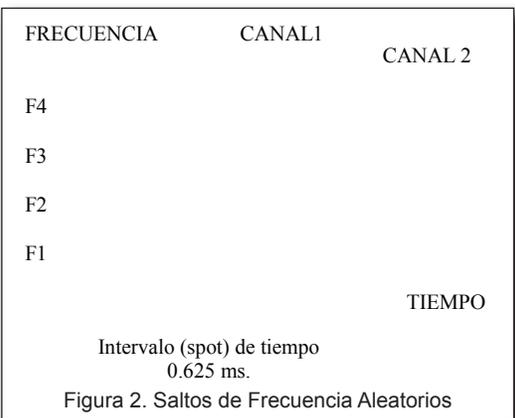
crear pequeñas redes LAN, y así mismo podrían realizarse conexiones a Internet.

*Bluetooth* opera en una banda de uso libre (sin licencia) de 2.4 GHz (2402 Hz – 2480 Hz), con un ancho de canal de 1 MHz, lo que resulta en un total de 79 canales. Las versiones de *Bluetooth* actuales hacen referencia a una *clase 1* que puede conseguir distancias de hasta 200 metros, y una *clase 2* que se limita a menos de 10 metros.

A diferencia de otras tecnologías *DoW* que emplean el método de Espectro Esparcido (*Spread-spectrum*), *Bluetooth* cambia su frecuencia con una pseudo-aleatoriedad de 1600 veces por segundo; de esta forma el canal se convierte en insensitivo, ya que si algún paquete llega a ser interrumpido éste vuelve a ser enviado en otra frecuencia en la que difícilmente podrá ser nuevamente interferido, llamando a esta tecnología de Saltos de Frecuencia Aleatorios (*Frequency-Hopping*), como se muestra en la **Figura 2**.

Un canal de *Bluetooth* siempre consiste de un maestro y uno o más esclavos; el maestro frecuentemente es quien inicia la conexión y decide sobre un esquema de esperanzas relacionado sobre el reloj interno, y el esclavo calcula un *offset* (desplazamiento) el cual es la diferencia entre los relojes maestro y esclavo. Esto determina la frecuencia a la que se espera el salto. Los canales de *uplink* y *downlink* (enlace activo e inactivo, respectivamente) para un solo componente son multiplexados en el tiempo y consecuentemente utilizan el mismo esquema de salto de frecuencia a 1MHz.

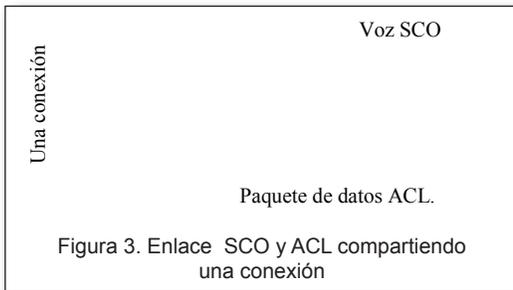
La eficiencia de comunicación bidireccional de datos se logra mediante dos



tipos de comunicación de enlace; el primero es un enlace síncrono de comunicación llamado *Synchronous Connection-Oriented (SCO)*—Conexión Orientada Síncrona), que es especialmente deseable para servicios por circuitos de interrupción, donde se requiere un retardo mínimo y una alta razón de calidad del servicio (*QoS - Quality of Services*). Estos canales ofrecen la misma velocidad en ambas direcciones y conocen exactamente cuando recibirán el próximo paquete, siendo óptimos para transmisiones constantes en los intervalos de tiempo (*slots*) en toda la sesión.

El segundo enlace, conocido como *Asynchronous Connection-Less (ACL)*—Conexión Débil Asíncrona) se utiliza para transferir datos y servicios asíncronos, mediante un esquema de poleo en la transmisión, formando una colección de hasta 8 unidades *Bluetooth* donde la unidad maestra controla la transmisión y el esquema de salto. El *master* regula las transmisiones de los esclavos. El tipo de enlace depende en gran medida de la calidad de transmisión que se quiera lograr, esto se observa de manera más detallada en la **Figura 3**.

Para transmitir la voz existen dos métodos de codificación analógica a digital; el primero es la Módulación por Codificación de Pulso (*PCM - Pulse Code Modulation*). Esta técnica



nos proporciona 64 Kbps. La segunda técnica es llamada Curva Delta Continuamente Variable (CSVD - *Continuously Variable Slope Delta*), que utiliza una técnica de un bit de longitud y con menor interferencia, ideal para ambientes *wireless* de sólo 8 Kbps. *Bluetooth* dispone de un mecanismo para el ahorro de energía, conservando la vida de la batería; las especificaciones del protocolo clasifican a los dispositivos en tres de acuerdo a su energía de operación, tal como se muestra en la **Tabla 1**.

Clase Potencia	Salida Máxima	Potencia
1	100 mW	-20 dBm
2	2.5 mW	-4 dBm
3	1.0 mW	-0 dBm

Tabla 1. Clases de potencia *Bluetooth*

1.- *Sniff Mode* (Modo olfateado). En este modo se actualiza de acuerdo al ambiente en el que se está operando.

2.- *Hold Mode* (Modo Sostenido). El reloj continúa operando, liberándose de la sincronización con el master.

3.- *Park Mode* (Modo estacionado). Es similar a *Hold Mode*, solamente que este no retiene la dirección al cambiar de modo.

Una red *Bluetooth* debe contar con un software, que opera como *firmware* en el que se provee soporte para funciones de configuración, autenticación, conexión, envío, re-

cepción, detección de errores y corrección; además cuenta con tres tipos de seguridad: *modos 1, 2 y 3*.

El *modo 1* representa un modo no seguro de operación, esto quiere decir que no tiene procedimientos de seguridad.

En el *modo 2* se establece la posibilidad de comunicarse con dispositivos que no cuenten con seguridad y a su vez proporciona un nivel mínimo, si esto se requiere; en el *modo 3* se implementa la seguridad antes de iniciar los enlaces de operación.

La arquitectura de seguridad en *Bluetooth* es flexible, ya que permite enlaces sin autenticación o con *Personal Identification Number (PIN* Número de Identificación Personal), esto es una validación para que los dispositivos se comuniquen, lográndose con la autenticación, autorización y la encriptación de los datos.

### FUNCIONAMIENTO DE BLUETOOTH

Para establecer la conexión, primero el dispositivo *Bluetooth* debe ser encendido, cuando ocurre esto el equipo se pone en modo *standby*, esperando mensajes de forma periódica en el espectro *RF* cada 1.28 s, sobre un conjunto de 32 saltos de frecuencia definidos por él mismo; después, si algún dispositivo está presente, recibe una instrucción de enlace, y si la dirección es conocida se transmite un mensaje *PAGE* (página), en caso contrario se envía un mensaje de *INQUIRY* (exploración).

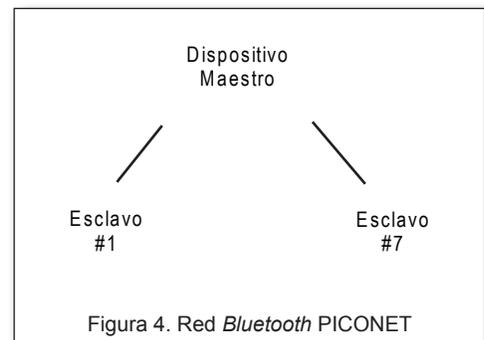
El esquema más simple de conexión ocurre cuando dos dispositivos necesitan comunicarse uno con otro y se denomina *PICONET*. Este es un enlace punto a punto donde se requiere un dispositivo maestro y otro esclavo; además, si existe un

dispositivo maestro y uno o más esclavos (punto a multipunto) en una red *ad hoc*, ésta también se considera como *PICONET*, tal como se muestra en la **Figura 4**.

Una red *PICONET* se limita únicamente a 8 dispositivos al mismo tiempo, aunque se pueden tener más esclavos, no simultáneos pero sí con la posibilidad de comunicarse; a estos elementos se les refiere como *Parked* (estacionados). A cada esclavo activo se le asigna una dirección de 3 bits, mientras que los esclavos *parked* tienen 8, siendo un máximo de 256 dispositivos esclavos en *parked*.

Como se mencionó anteriormente, el enlace se logra con mensajes de *PAGE* o *INQUIRY*, y cuando el dispositivo entra en modo de operación *PAGE* se transmite una secuencia de 16 mensajes idénticos sobre 16 diferentes saltos de frecuencia, y si el esclavo no responde dentro de ese lapso el maestro vuelve a enviar la misma secuencia sobre las 16 frecuencias restantes. En el caso de *INQUIRY*, se establece que es un dispositivo desconocido que ha entrado a un nuevo ambiente *Bluetooth*; es similar a *PAGE*, pero utiliza un poco más de tiempo para poder ser reconocido, y el tiempo máximo de alcance de un maestro a un esclavo es de 5.12 segundos.

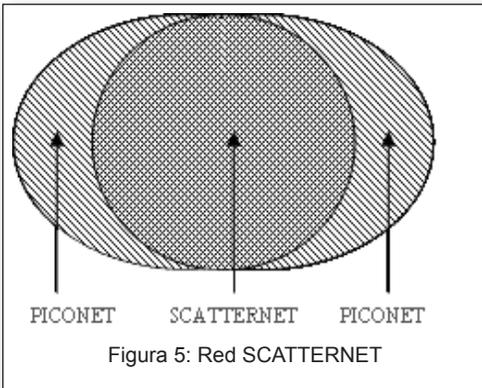
Existen algunas variaciones de *PICONET*, como por ejemplo *SCATTTERNET*, que infiere hasta ocho



PICONET que están cerca, sobre una misma área de cobertura *wireless*, como se muestra en la **Figura 5**.

## ERRORES DE CONEXIÓN

Existen tres esquemas para corrección de errores, los dos primeros utilizan *Forward Error Correction* (FEC – Corrección de Error Frontal) que es un esquema de redundancia suficiente para corregir el menor número de bits, mientras que el tercero, *Automatic Retransmission Request* (ARQ – Solicitud de Retransmisión Automática), funciona validando los paquetes a través de un algoritmo CRC que se compara entre el calculado y el transmitido.



## PERSPECTIVAS ACTUALES

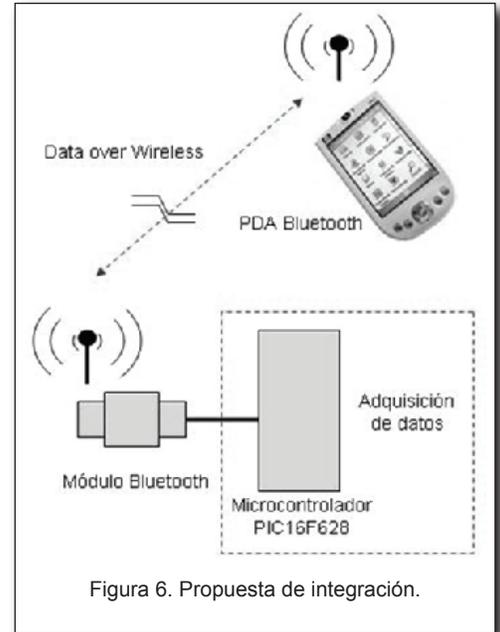
Con la aparición de diferentes plataformas en dispositivos móviles, específicamente tipo PDA (vistos como computadoras de bolsillo) y Smartphones, es posible considerar al protocolo *Bluetooth* de corto y largo alcance con dos posibles vertientes: aplicaciones residentes (*software*) para el manejo e intercambio de información multimedia o documental entre dos o más dispositivos de las mismas características y, por otra parte, aplicaciones que permiten conectar al dispositivo móvil con alguna realización hardware externa, como sería un microcontrolador.

En este segundo caso se trabaja con sistemas básicos de adquisición y monitoreo de señales; es decir, a través del microcontrolador se establece una comunicación inalámbrica vía *Bluetooth* con el PDA o el Smartphone, para que éste reciba la información, la procese, la almacene de ser necesario y pueda elaborar gráficas para un análisis más concreto en un sistema de supervisión.

Cabe mencionar que, dadas las propiedades de la tecnología *Bluetooth*, es posible realizar la comunicación de manera serial entre sólo dos dispositivos entrelazados, que es el caso de este artículo, o bien crear una red que puede soportar varios dispositivos interactuando. La **Figura 6** hace referencia a la aproximación de integración del prototipo. Obsérvese que el PDA debe incluir la funcionalidad *Bluetooth*.

Para la alternativa del módulo *Bluetooth*, entre varias opciones, es posible usar un adaptador de RS-232 a *Bluetooth* comercial, un convertidor de alcance considerable, que soporta la transmisión de voz y datos; el dispositivo consta de tres partes: un controlador de banda base, una memoria flash y una interface de radio que funciona entre 2.4 y 2.5 GHz, cumpliendo con la *versión 1.1* del protocolo y permitiendo configurar la velocidad de transferencia en la contraparte serial desde 2,400 hasta 9,600 baudios con un conector macho DB9. El Módulo para este prototipo se muestra en la **Figura 7**, el cual consta de una serie de interruptores que permiten configurar la velocidad de transmisión, que en el caso particular de este proyecto es de 2400 baudios, soportados por el microcontrolador.

La idea de utilizar el convertidor *Bluetooth* a serial RS-232 está basada en la facilidad con la que el microcontrolador puede implementar esta co-



municación secuencial. Se observa en la **Figura 6** que el microcontrolador sugerido se debe programar con una funcionalidad serial, como si se fuera a comunicarse con el protocolo RS-232 alambrado, siendo transparente para éste la conversión *Bluetooth* que realizará el adaptador.

En dependencia con el Sistema Operativo del PDA, será necesario buscar una herramienta adecuada para programar la aplicación; se propone C#, Visual Basic o J2ME. Las primeras aproximaciones se han realizado en C# 2.0.

## CONCLUSIONES

En este documento se presentó una revisión básica de las tecnologías *Data over Wireless*, enfocándonos al protocolo *Bluetooth*, actualmente utilizado en la mayoría de los dispositivos móviles, dada su facilidad de conexión, seguridad de transferencia, alta velocidad e infraestructura.

La idea básica de este artículo es sentar las condiciones iniciales para acoplar un módulo de comunicación



Figura 7: Adaptador Bluetooth a RS-232, marca IOGEAR

Bluetooth a un microcontrolador, y de esta manera acceder a un PDA también con puerto Bluetooth e intercambiar información, formando así un sistema inalámbrico de adquisición y monitores de datos.

En artículos posteriores se abordará la implementación del sistema completo.

---

### BIBLIOGRAFÍA.

---

- [1] Gilbert Held, *"Data Over Wireless Networks Bluetooth, WAP, and Wireless LAN's"* McGraw-Hill U.S.A 2001.
- [2] Christoffer Andersson. *"GPRS and 3 Wireless Applications"*, John Wiley & Sons, Inc. USA 2001.
- [3] Comisión Federal de Telecomunicaciones COFETEL, [www.cofetel.gob.mx](http://www.cofetel.gob.mx)
- [4] J. Sandoval, F. Martínez. *"Diseño de un sistema RFID activo tipo GEN2 sobre UHF de 433 MHz en modulación ASK de bajo costo"*, 4º Congreso Internacional en Innovación y Desarrollo Tecnológico, México, 2006, IEEE.
- [5] Herrera Juan, Morales Mario, Sandoval Jacobo, Ilizaliturri Ian. *"Perspectivas Actuales de la Tecnología RFID"*. VIII Simposium Internacional, Aportaciones de las Universidades a la docencia, la investigación, la tecnología y el desarrollo. ESIQIE – CIDETEC, IPN, México, D.F. 2006.
- [6] Herrera Juan, Gonzáles Juan, Cruz Agustín. *"Programación de Dispositivos de Cómputo Móviles"*. POLIBITS, Año XV, Vol. 1, Número 31, Enero – Junio de 2005. CIDETEC, México, D.F.
- [7] Herrera Juan, Gonzáles Juan, Cruz Agustín. *"Una Alternativa para el Control de Motores Convencionales de CD en una Computadora de Bolsillo"*. Congreso Internacional de Electrónica Electro2006, Instituto Tecnológico del Estado de Chihuahua, Chihuahua, México.