

# Lectura automática de medidores de consumo de agua con tecnología bluetooth

## Automatic measurement of residential water consumption with bluetooth

Carlos A. Lozano E., MSc., Carlos Toro B., Ing. y David Castaño A., Ing.  
Grupo de Automática y Robótica, GAR, Pontificia Universidad Javeriana- Cali, Colombia  
carlosal@javerianacali.edu.co

Recibido para revisión 26 de marzo de 2009, aceptado 15 de junio de 2009, versión final 9 de julio de 2009

**Resumen**—Debido a la caída de los precios de los sistemas inalámbricos y su mayor disponibilidad, además de las variadas y complejas herramientas que se encuentran en las agendas personales y celulares, ha sido posible aplicaciones de monitoreo, control y toma de datos. Este documento presenta los resultados del diseño e implementación de un medidor de consumo de agua usando tecnología inalámbrica Bluetooth con dispositivos personales como PDAs o celulares.

**Palabras Clave**—Aplicaciones, Bluetooth, PDA, Medición, Agua.

**Abstract**—This project takes advantage over the current prices in wireless systems, its availability and complex software tools provided by sellers of PDAs and cellular devices that makes possible monitoring, control applications and data processing. This paper shows results on design and implementation of a residential water consumption measurement system using wireless technology as Bluetooth with personal agendas and cellular devices.

**Keywords**—Applications, Bluetooth, PDA, Measurement, Water.

### I. INTRODUCCIÓN

LAN, o red de área personal, es una red que permite conectar celulares, computadores personales, PDA's o cualquier dispositivo electrónico que regularmente opera una persona en su rutina diaria [1]. En una red se puede transferir información importante desde un punto de sensado a un sistema de tratamiento de información más sofisticado. Una de las tecnologías que han revolucionado el manejo de la información a corta distancia entre dispositivos de baja potencia es Bluetooth, por su velocidad de enlace, rango de comunicación, nivel de potencia de transmisión, ha sido seleccionada como el estándar de comunicación en celulares y PDA's. Bluetooth opera a 2.4

GHz de banda RF con una distancia promedio de 10 metros y una velocidad de comunicación superior a 1 Mbps [2].

El registro del consumo de servicios públicos como el agua permite obtener perfiles de consumo, detectar fugas de agua en una red, medir estadísticas de comportamientos futuros para programar una distribución, entre otros beneficios claros entre el consumidor y la empresa de servicios. En Colombia los medidores de agua son generalmente contadores de flujo, salvo muy pocos equipos digitales que la empresa de servicios provee a las grandes empresas consumidoras a un costo relativamente alto para las partes. El presente trabajo trata sobre la consecución de la medida de consumo de agua de un medidor digital industrial conectado a un sistema microprocesado que sea capaz de transmitir la lectura a una PDA con Bluetooth. Se desarrolló un programa en Java en la PDA para poder acceder de forma fácil a la información y con la mayor seguridad posible, con tal de almacenar gran cantidad de datos de varios medidores.

Este documento presenta el desarrollo y los resultados del proyecto de la recolección de datos de un medidor automático de consumo de agua usando Bluetooth. En la sección 2 se presenta una breve explicación de las capas del protocolo Bluetooth, en la sección 3 se describe la PDA usada en el proyecto y en la sección 4 se presenta la descripción general del sistema.

### II. PILA DE PROTOCOLOS BLUETOOTH

En la Figura 1 se muestran las capas de la pila del protocolo Bluetooth de interés en el proyecto.

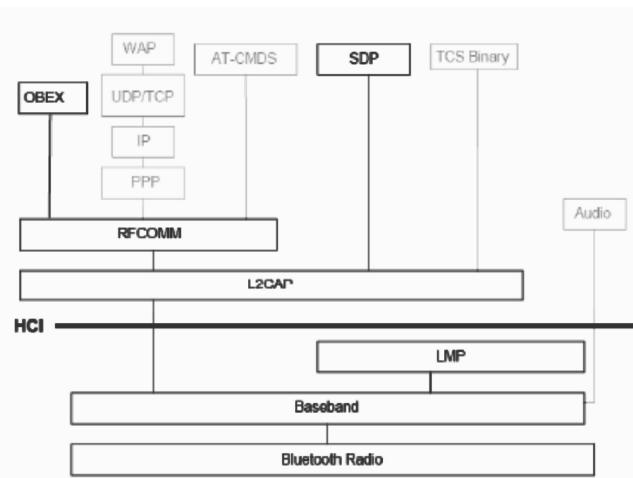


Figura 1. Capas de la pila del protocolo Bluetooth de interés en el proyecto.

OBEX es un protocolo que fue diseñado inicialmente para comunicación por infrarrojo (IR) para intercambio de objetos entre dispositivos. RFCOMM es una capa que permite el control de flujo mediante créditos que emula puertos seriales EIATIA-232- E empleando un enlace de L2CAP. L2CAP abstrae el MTU de Baseband a las capas superiores gracias a la segmentación y reensamble de tramas, permite la multiplexión de datos a las capas superiores y abstrae la comunicación entre grupos. LMP mapea las funciones que realiza Baseband en primitivas que pueden usarse por las capas superiores. Baseband crea y administra las conexiones físicas a través del radio, define los tipos de conexiones físicas, los modos de consumo de los dispositivos, los procedimientos para realizar conexión/desconexión y descubrimiento de dispositivos y provee un conjunto de mecanismos que garantizan a las capas superiores un medio confiable y seguro. Las aplicaciones desarrolladas trabajan sobre OBEX (LogDataTX2PC) y sobre RFCOMM (LogMasterBT y aplicación embebida) [3].

### III. PALM OS

Palm OS es uno de los sistemas operativos de mayor popularidad entre los dispositivos móviles [4]. Es un sistema operativo mono- hilo orientado a eventos, que cuenta con capacidades de manipulación de pantallas con diferentes resoluciones, interacción con tecnologías de comunicación, sincronización de archivos con un PC, entre otras características. Actualmente la versión mas reciente implementada en los equipos de Palm es OS Garnet.

El modelo de programación basado en eventos (Event- Driven model or paradigm) consiste en responder ante eventos con código que los procese. La dinámica consiste en una rutina despachadora de eventos, la cual tiene como función hacer un monitoreo continuo de nuevos eventos para realizar procesos

ante estos. El procedimiento despachador "llama" a una porción de código que ha sido registrado para manejarlo informándole del evento y de otros datos necesarios para identificar alguna característica del mismo en ese momento. Esta función despachadora es un ciclo con una condición de salida (normalmente un requerimiento para la terminación del programa). Mientras esta condición no se cumpla, el ciclo mantendrá la aplicación activa, revisando y despachando nuevos eventos a sus correspondientes manejadores (handlers) cuando los eventos se presenten. El ciclo en Palm OS es denominado Event Loop. La descripción detallada de la arquitectura del sistema Bluetooth en Palm OS se muestra en la Figura 2.

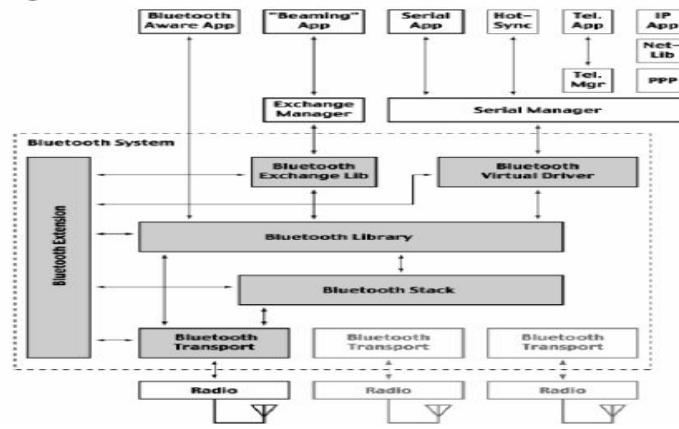


Figura 2. Arquitectura del Sistema Bluetooth en Palm OS.

### IV. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA (FIGURA 3)

El sistema comprende la aplicación del protocolo BT para la implementación de un datalogger en medidores de consumo de agua, usando como medio de comunicación un BT entre la interfaz de usuario implementada en una PDA y el sistema logger implementado en un sistema embebido. Los datos del medidor de agua se adquieren por un transductor no invasivo y se envían a una PDA que hace la parte administrativa de los datos y de almacenamiento temporal para después descargarlos en una PC usando capas de alto nivel de intercambio de objetos (OBEX) provistas por la pila BT.



Figura 3. Diagrama de bloques del sistema.  
La descripción de cada bloque de la Figura 3 se muestra a continuación.

#### A. Protocolo de Aplicación e Interfaz de Comandos

A nivel de la capa de aplicación se hace la comunicación y las transacciones entre LogMasterBT y la aplicación embebida. El protocolo emplea timeout timers para prevenir bloqueos y para recuperación ante tramas erróneas. Solo se incluyó un campo de checksum en el encabezado debido que las capas inferiores ya tienen un medio confiable. El formato de la trama de este protocolo se muestra en la Figura 4 y los comandos disponibles en la Figura 5.

TAMANO (bytes):	1	1	1	2	1	Variable	1
CAMPO:	DELIMITADOR DE INICIO	DELIMITADOR TIPO DE PAQUETE	ENCABEZADO DE LA TRAMA	DELIMITADOR NRO DATOS EN LA TRAMA	CHECKSUM	DATOS DEL PAQUETE DATOS / PARAM. DEL COMANDO	DELIMITADOR DE FIN

Figura 4. Formato de la trama de comandos a nivel de aplicación.

OPCODE	NOMBRE DEL COMANDO
1	CMD_DESCONECTAR*
2	CMD_PROGRAMAR_MUESTREOS*
3	CMD_BORRAR_MUESTREOS_COMPLETADOS*
4	CMD_CONFIGURAR_LOCALIDAD*
5	CMD_CONSULTAR_CONFIGURACION_LOCALIDAD*
6	CMD_CONFIGURAR_SERIAL_DATALOGGER*
7	CMD_CONSULTAR_SERIAL_DATALOGGER*
8	CMD_CONSULTAR_INFO_MUEST_TERMINADO*
9	CMD_CONSULTAR_INFO_MUEST_PROGRAMADO*
10	CMD_TRANSFERIR_MUESTREO_TERMINADO*
11	CMD_CONSULTAR_QMAX_E_HISTOGRAMA*
12	CMD_CONSULTAR_RSSI*
13	CMD_CONFIGURAR_HORA_Y_FECHA*
14	CMD_CONSULTAR_HORA_Y_FECHA*
15	CMD_CONFIGURAR_PIN_BT*
16	CMD_CONSULTAR_PIN_BT*
17	CMD_CONS_DISPO_PARA_PROG_MUESTREOS*
18	CMD_CONS_ESTADO_LOGGER
19	CMD_CAMBIAR_NIVEL_CFG
20	CMD_CONSULT_NIVEL_CFG
21	CMD_PROBAR_CONEXION
22	CMD_CONS_HORAFECHA_ULT_ACC*

Figura 5. Comandos de la capa de aplicación.

En la Figura 5 el "\*" define los comandos que solo se pueden ejecutar si el nivel de acceso a nivel de capa de aplicación es el de configuración.

#### B. Dispositivo del Usuario

Este bloque lo comprende la interfaz del usuario con el sistema y es el que administra y configura el logger. Para esto se empleó una Palm T/X como plataforma de hardware y la aplicación que se ejecuta en esta (LogMasterBT) fue escrita en C/C++. Esta aplicación es orientada a eventos y hace las veces de "aplicación

esclava" cuando interactúa con la aplicación embebida (aplicación maestra). Emplea una máquina de estados para el manejo de la comunicación, como se muestra en la Figura 6. Esta aplicación interactúa directamente con la librería BT de Palm OS como "Bluetooth Aware Application"; ver Figura 2.

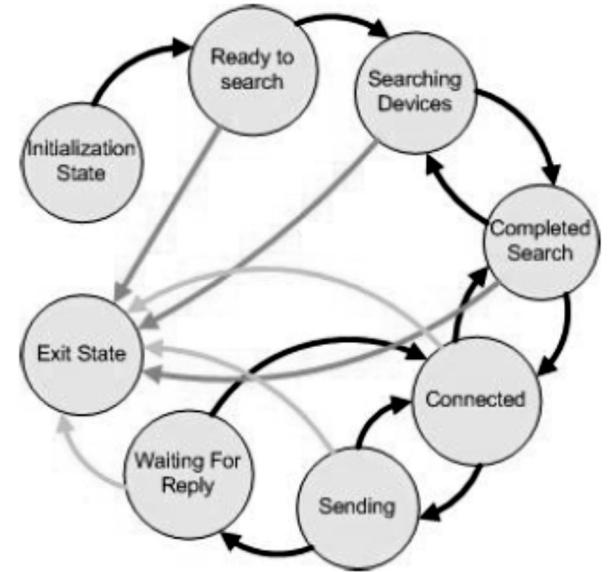


Figura 6. Máquina de estados general de la aplicación móvil. La navegación entre las pantallas sigue el esquema de la Figura 7.

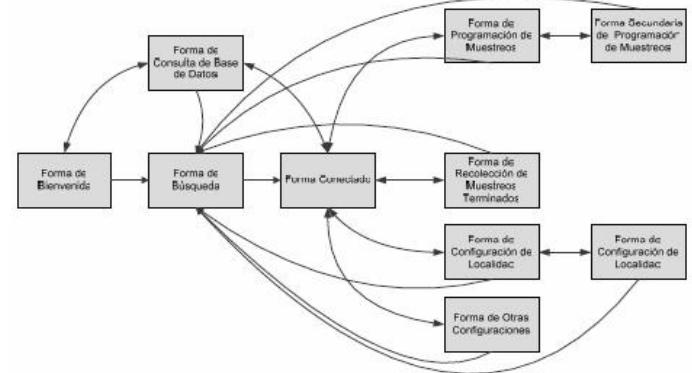


Figura 7. Posibilidades de navegación entre formas de la aplicación móvil.

#### C. Módulo BT

Este módulo provee de capacidad Bluetooth al sistema embebido [5]. Se empleó un circuito que implementa la pila BT hasta la capa RFCOMM basado en el LMX9820A de National Semiconductors. Las capas de la pila BT implementadas en este producto se muestran en la Figura 8.

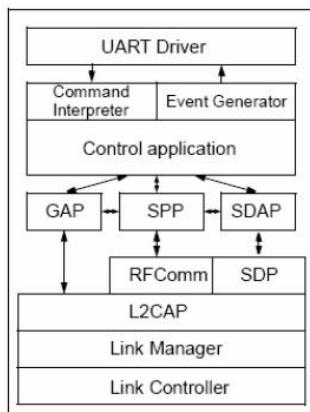


Figura 8. Implementación Software del LMX9820A.

#### D. Sistema Embebido

Esta es la plataforma de ejecución de la aplicación embebida. Lleva a cabo las funciones de logging, almacenamiento de registros, adquisición de datos de consumo y comunicación con el dispositivo del usuario. También almacena la información de consumo para ser recolectada posteriormente por el dispositivo del usuario. La aplicación embebida se dividió en tres componentes principales: Núcleo, Porte y Rutinas para stdio, para independizarla de la plataforma de hardware, agilizar la implementación y depuración y llegar a una versión funcional de la aplicación embebida con la cual se pudo estimar la cantidad de RAM que debía tener el microcontrolador antes de fijar los requerimientos de memoria o recursos.

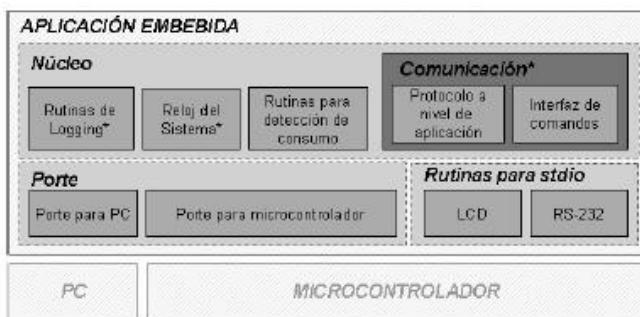


Figura 9. Bloques funcionales de la aplicación embebida. Probadas y depuradas con el porte a PC.

Esta aplicación se implementó sobre una tarjeta de desarrollo diseñada y construida para el proyecto que tiene capacidad de comunicación de hasta 921600 bps con el módulo BT.

#### E. Transductor

El transductor del bloque de la Figura 3 emplea una luz infrarroja para la adquisición del consumo de agua registrado por el medidor de consumo basándose en un algoritmo que discrimina la luz IR emitida y reflejada en un objeto de la luz total del ambiente. Se tomó como base el esquema propuesto en [5] para detectar las revoluciones del indicador radial de la Figura

10 y se le hicieron algunas modificaciones requeridas, como la detección de paso en lugar de la presencia de un objeto, mejorar la confiabilidad de la detección cuando el objeto está quieto y un algoritmo de calibración.

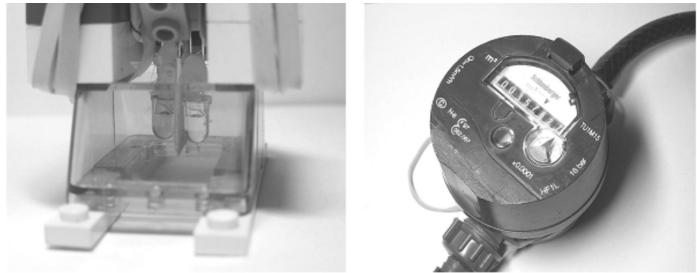


Figura 10. Carcasa de medida y medidor de consumo de agua.

#### F. Medidor de Consumo de Agua

El medidor de consumo de agua es leído por el transductor para la adquisición de los datos de consumo por la aplicación embebida. En la transferencia de datos, el dispositivo del usuario, o sea la Palm, tiene almacenada toda la información recolectada previamente de la aplicación embebida que opera con el medidor de consumo. La aplicación móvil de este escenario (LogDataTX2PC) permite el envío de información al PC mediante OBEX.

En el PC reside la aplicación que genera los archivos CSV a partir de los archivos enviados desde el dispositivo del usuario (Palm). El computador también cuenta con BT y puede almacenar los informes CSV luego de ser generados.

#### V. CONCLUSIONES

El protocolo de aplicación y la interfaz de comandos propietarios que funcionan sobre la capa RFCOMM de Bluetooth permiten ejecutar confiablemente todas las transacciones necesarias para la administración del datalogger. Con este protocolo se logró un nivel de seguridad adicional al provisto por Bluetooth al limitar el procesamiento de transacciones con la validación de la estructura del formato de trama definido y con el nivel de acceso al logger, lo que impide la modificación de la configuración de este, si se desconoce el protocolo de aplicación.

Dos dispositivos de procesamiento con niveles distintos de integración de la tecnología Bluetooth se comunicaron entre sí. En la Palm la tecnología estaba integrada tanto en hardware como en software (ver Figura 11) hasta el nivel del sistema operativo, mientras que en el usado en el sistema embebido se realizó la integración con la pila BT y un microcontrolador con funciones de logger.

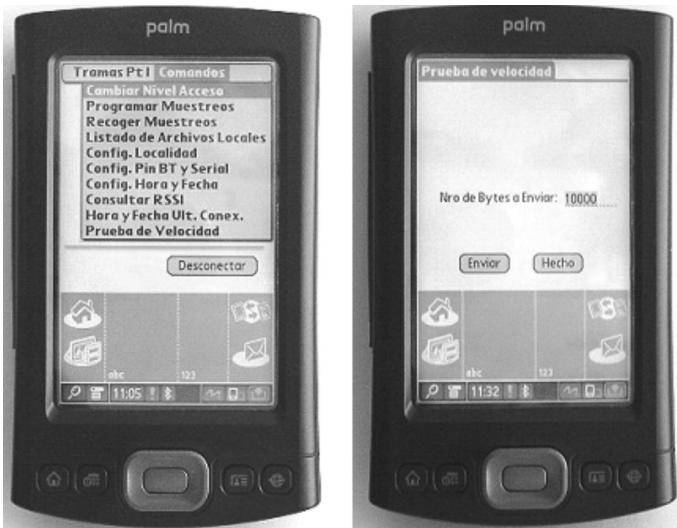


Figura 11. Prueba de velocidad de transmisión en LogMasterBT.

## REFERENCIAS

- [1]Rashid, R. and Yusoff, R. "Bluetooth Performance Analysis in Personal Area Network (PAN)", in International RF And Microwave Conference Proceedings, September 12 - 14, 2006, Putrajaya, Malaysia.
- [2]Bhagwat, P., "Bluetooth: Technology for Short- Range Wireless apps", in IEEE Internet Computing, Industry Report, May- June 2004
- [3]Motorola, "Java APIs for Bluetooth Wireless Technology" (JSR-82) ver. 1.0a., 2002.
- [4]PALM, "Palm OS Programmer's Companion", Volume I and II, Document Number 3004-012 and 3005- 009, 2004..
- [5]Bluetooth Sig. Specification of the Bluetooth System- Core Volume v 1.1. 2001.
- [6]Baraniak, T., "A Noncontact Infrared Bumper", Circuit Cellar Magazine #141, Abril 2002.

**Carlos Lozano Espinosa**, MSc, profesor de la Pontificia Universidad Javeriana- Cali, en el área de sistemas embebidos y aplicaciones.

**Carlos Toro Bermudez**, Ingeniero electrónico de la Pontificia Universidad Javeriana- Cali, con énfasis en sistemas embebidos y control.

**David Castaño Alban**, ingeniero electrónico de la Pontificia Universidad Javeriana de Cali, con énfasis en sistemas embebidos y control.

**Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín**  
**Facultad de Minas**  
**Escuela de Ingeniería de Sistemas**

**Pregrado**

- ❖ Ingeniería de Sistemas e Informática.



**Posgrado**

**Áreas de Investigación**

- ❖ Ingeniería de Software.
- ❖ Investigación de Operaciones.
- ❖ Inteligencia Artificial.

- ❖ Doctorado en Ingeniería-Sistemas.
- ❖ Maestría en Ingeniería de Sistemas.
- ❖ Especialización en Sistemas con énfasis en:
  - Ingeniería de Software.
  - Investigación de Operaciones.
  - Inteligencia Artificial.
- ❖ Especialización en Mercados de Energía.

Escuela de Ingeniería de Sistemas  
Dirección Postal:  
Carrera 80 No. 65 - 223 Bloque M8A  
Facultad de Minas. Medellín - Colombia  
Tel: (574) 4255350 Fax: (574) 4255365  
Email: [esistema@unalmed.edu.co](mailto:esistema@unalmed.edu.co)  
<http://pisis.unalmed.edu.co/>

