

# LA TECNOLOGÍA BLUETOOTH PARA EL SEGUIMIENTO DE VARIABLES INDUSTRIALES

Investigación

Fecha de recepción:  
30 de marzo de 2013

Fecha de aprobación:  
3 de mayo de 2013

**Karla Yohana Sánchez Mojica**  
Ingeniera en Telecomunicaciones, Universidad de Pamplona, Cúcuta  
Investigadora grupo GRINFESC, Fundación de Estudios Superiores Comfanorte FESC,  
Colombia  
investigaciones@fesc.edu.co

## Resumen

El objetivo de la investigación es el desarrollo de un prototipo de hardware y de software que permita las comunicaciones por ondas de radio, con el uso de la tecnología Bluetooth y sus protocolos, entre un teléfono móvil y un dispositivo construido para uso industrial que transmita y reciba información por medio de ondas RF. Para dicha comunicación, se construye una aplicación Java 2 Micro Edition que tiene como finalidad ser un entorno visual o aplicación para monitorear una variable externa y controlar procesos industriales desde el celular; la investigación tiene tres partes fundamentales en su desarrollo: elaboración de la aplicación móvil, elaboración de los módulos de comunicación, y experimentación. Los resultados están centrados en el hardware piloto construido y en la aplicación móvil que hace la función del entorno visual para monitoreo, control y alteración de la variable que se desea manipular en el entorno industrial, en este caso temperatura.

## Palabras Clave

Bluetooth, comunicación, Java 2 Micro Edition, protocolo.

## Abstract

The objective of the research is the development of a prototype hardware and software to enable communications by radio waves, with the use of

Bluetooth technology and protocols between a mobile phone and a device built for industrial use to transmit and receive information via RF waves. For this communication a Java 2 Micro Edition application that aims to be a visual environment or application to monitor and control an external variable industrial processes from the cell is built, research has three main parts in its development: mobile application development, development of communication modules and experimentation. The results are focused on the driver built hardware and mobile application that acts as a visual environment for monitoring, control and alteration of the variable to be manipulated in the industrial environment, in this case temperature.

## Keywords

Bluetooth, communication, Java 2 Micro Edition, protocol.

## Introducción

Este artículo de investigación científica y tecnológica es el resultado de investigar y aplicar el protocolo Bluetooth como tecnología de comunicación inalámbrica impuesta en los últimos años, que permite estudiar y utilizar nuevas formas de comunicación a nivel industrial. Se ha explorado la comunicación Bluetooth para controlar actuadores (Márquez, Hans, Hernández y Pedraza, 2012), un sistema electrónico el cual controla un máximo de ocho actuadores de forma inalámbrica a través de dispositivos Bluetooth, los cuales están conformados por un módulo

maestro y un módulo esclavo, siendo este último el que alberga las salidas para el control de actuadores, además de tener disponible lectura de la variable temperatura. Se utilizó un sistema de control compuesto que permite al usuario trabajar desde el computador controlando los actuadores y el otro modo de operación prescinde del computador para ejecutar el control sobre éstos.

En la ciudad de Pereira, Colombia, se adelantaron estudios de cómo adaptar la tecnología inalámbrica Bluetooth en el Laboratorio de Instrumentación y Medidas de la Facultad de Ingeniería Eléctrica, para la conexión de instrumentos, y en general de dispositivos programables vía RS232, mediante el desarrollo de herramientas de hardware microcontrolado y de software para ambientes de desarrollo científico como MATLAB y LabVIEW (Ruiz, Quijano y Holguín, 2004).

Es importante destacar los estudios que permitan profundizar en los avances tecnológicos en comunicaciones inalámbricas que en la actualidad se encuentran en desarrollo permanente, buscando una actualización continua de los conocimientos teóricos y prácticos para crear nuevas formas de control dentro de la automatización industrial. El proyecto permite utilizar una alternativa de comunicación segura, de corto alcance, rápida y de bajo costo para empresas y usuarios que requieran la creación de redes de área local para facilitar ciertos procesos de control. Una aplicación práctica de este proyecto como resultado de esta investigación es mostrar una alternativa para disminuir riesgos al personal evitando entrar a lugares peligrosos a inspeccionar procesos, ya que desde una distancia determinada el operario puede supervisar con su propio celular variables como la temperatura, gases, flujo, presión, entre otras por medio de sensores que envíen la información vía Bluetooth hacia un dispositivo receptor/transmisor que manipula el operario, una red o un controlador capaz de tomar decisiones en un proceso de automatización.

## Metodología

Elaboración de la aplicación móvil

Dentro de este proyecto se crea un software como aplicación de monitoreo desde el móvil

(teléfono celular); para esto se propone una metodología basada en cuatro pasos que llevan al desarrollo óptimo de la aplicación. Dicha metodología se puede observar en la figura 1; además, la elaboración del software está basada, en el método de programación "Ingeniería de Software Educativo con modelaje Orientado por Objetos (ISE-OO)" (Gómez, Galvis y Mariño, 1998) como camino de diseño y elaboración de

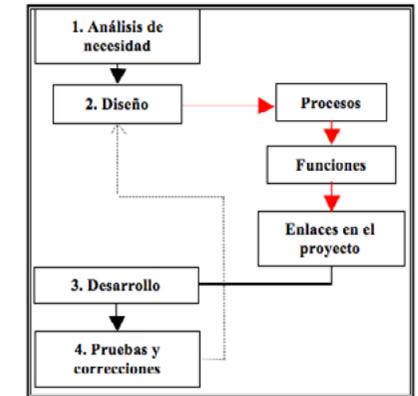


Figura 1. Metodología a desarrollar en el desarrollo de la aplicación móvil.

En esta etapa se establece cuál es la necesidad del cliente y la problemática a cubrir, se lleva a cabo una recopilación de las peticiones del cliente, es decir, obtener información del cliente (usuario) para el diseño de la aplicación y clasificar los requerimientos que hagan la aplicación escalable. En esta investigación las necesidades que debe suplir la aplicación son: leer variables industriales en formato ASCII o decimal según los dispositivos de lectura en el campo (sensores), opciones para tomar acciones con respecto al elemento final de control en caso de que se requiera, almacenamiento de datos en el momento de abrir la comunicación en formato .TXT.

La etapa de diseño plantea la estructura del software a partir de algunos diagramas de UML (Unified Modeling Language, Lenguaje Unificado de Modelado), (Fowler y Scott, 1999). En primer lugar se traducen los requerimientos obtenidos de la etapa anterior en un diagrama de casos de uso que describa en forma objetiva cada función que debe implementar el aplicativo. Después de definir cada caso de uso para la aplicación, se selecciona - si se requieren - los patrones de

diseño (Gamma, Helm, Ralph, Vlissides y Patterns, 2007) que serán implementados en la etapa de desarrollo para llevar a cabo cada una de las tareas que se pretenden cumplir con el software. Para la investigación se definió: sistemas operativos, lenguajes de programación como J2ME, máquinas virtuales y versiones, configuraciones, entre otras consideraciones para pasar a la etapa de desarrollo.

Una máquina virtual es un programa encargado de interpretar el código compilado de java, es decir, cuando se compila un programa en java (de extensión .java) se crea un código intermedio llamado bytecode (con extensión .class), (Barrón y Stansifer, 2003). Existe una máquina virtual para cada sistema operativo. Esta JVM (Java Virtual Machine) tiene la función de leer el bytecode y convertirlo a código máquina (lenguaje ensamblador) para que pueda ser ejecutado por el microprocesador de la máquina donde yace la aplicación (puede ser un PC, un servidor, un teléfono móvil, etc). De acuerdo a las capacidades de los dispositivos, Sun desarrolló dos máquinas virtuales, KVM y CVM. La primera significa Máquina Virtual Kilobyte; su nombre hace referencia al poco espacio que ocupa en memoria (entre 40Kb y 80Kb). Tiene varias restricciones con respecto a la JVM clásica de J2SE (Java 2 Standard Edition), en el caso de la aplicación móvil diseñada se utiliza una máquina virtual KVM por las limitaciones del teléfono móvil que se utiliza para las pruebas (Gálvez y Ortega Lucas, 2003).

Ahora, un perfil se encarga del mantenimiento del ciclo de vida de la aplicación, de las interfaces de usuario y del manejo de eventos. Como estándar existe que para una configuración determinada se usaba una Máquina Virtual Java específica: con la configuración CDC (Configuración de dispositivos conectados) se usa la CVM y con la configuración CLDC (Configuración Limitada de Dispositivos Conectados) se usa la KVM. Con los perfiles ocurre lo mismo; existen unos perfiles que se construyen sobre la configuración CDC y otros que se construyen sobre la CLDC.

## Resultados

En el desarrollo se tienen presente los parámetros definidos en la etapa anterior y se resume en la elaboración del código de programación Java escogido para la creación de la aplicación móvil.

Una vez se termina la codificación de la aplicación, se soporta teóricamente parte por parte y cada clase que la conforma, métodos, objetos o atributos, utilizados. Ya creada la aplicación para medir la temperatura (como variable piloto) por medio de un sensor analógico, con la finalidad de monitorear dicha variable en un teléfono móvil a través de una aplicación en J2ME, se instala en el celular y el funcionamiento básico de la aplicación se observa en la figura 2.



Figura 2. Aplicación móvil y su funcionamiento.

La figura A muestra la interfaz gráfica de bienvenida del usuario. En la figura B se observa la opción para buscar el servicio conexión. La figura C especifica el proceso para encontrar el servicio en espera y la figura D muestra el recuadro donde se publica el dato de la temperatura o el dato a leer.



Figura 3. Opción "Escribir" para enviar acciones de control.

En la figura 3, se observa la pantalla de la aplicación donde se lee el dato y se activa la opción de escribir la acción de control que se desea implementar dentro del sistema. En

las pruebas respectivas a la rutina se utilizó la metodología de verificar el funcionamiento de cada clase por separado y emular los resultados en programas como NETBEANS. También, se realizaron pruebas de campo con los instrumentos correspondientes y creados para el desarrollo del proyecto como módulos electrónicos de prueba piloto (Figura 4).



Figura 4. Prueba de funcionamiento de la aplicación móvil.

## Elaboración del sistema electrónico piloto

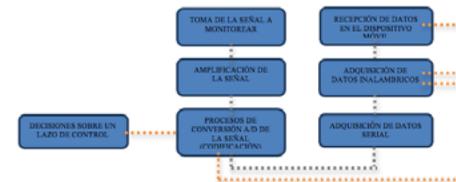


Figura 5. Etapas físicas (módulos) del sistema piloto

En la figura 5 se observa como es el proceso de conversión y tratamiento de los datos al momento de ser transmitidos por radio frecuencia, lo que hace referencia a cada módulo electrónico elaborado en la investigación e implementado como prueba piloto del sistema de control industrial vía Bluetooth. En la primera etapa se toma la señal, sea del medio o de algún proceso específico, en este caso a través de un sensor de temperatura analógico como lo es el LM35. La segunda etapa del sistema es de amplificación de dicha señal ya que el sensor trabaja en un rango de milivoltios que en la codificación del microcontrolador es difícil de interpretar; por esta razón, se realiza un módulo de amplificación

previo de ganancia 5 veces el valor para proporcionar 1 voltio en medida extrema.

Después de amplificar la señal de temperatura tomada por el sensor se codifica, este proceso se lleva a cabo en el microcontrolador 16F877A que proporciona 8 convertidores analógico - digital. En este PIC (Controlador Integrado Programable) se realiza una programación Basic para que envíe el dato en formato decimal con la comunicación tipo serial y en formato ASCII (Estándar Estadounidense para el Intercambio de Información) cuando se envía por Bluetooth.

Debido a que el funcionamiento del sensor es lineal se expresa el modelamiento matemático con la filosofía de proporcionalidad entre el voltaje de la señal y la temperatura; es decir, entre más temperatura mayor será el voltaje de la señal. Dicho modelamiento se registra en la ecuación 1 de la figura 6.

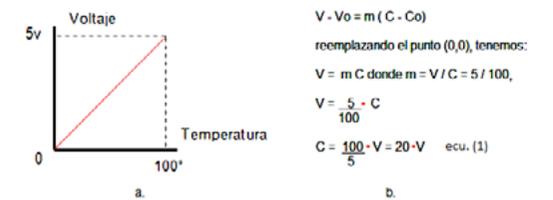


Figura 6. Proporcionalidad entre el voltaje del sensor y la temperatura que representa.

Partiendo de la ecuación de la recta se reemplaza un punto extremo (0,0) que significa que cuando no hay voltaje el sensor representa 0°C (idealmente); al reemplazarlo en la ecuación permite hallar "m" como pendiente de la recta la cual genera la ecuación 1, donde C es la temperatura en grados centígrados y V el voltaje de salida dependiendo de la temperatura que el sensor mida.

Se utiliza el convertidor A/D de 8 bits interno del microcontrolador, lo que ofrece una codificación entre 0 y 255 estados según la temperatura, es decir, la ecuación 2 (figura 7) permite hallar el valor digital partiendo de la temperatura; dicha conversión hace la señal menos frágil ante el ruido que se genera al transmitirla haciendo de la tecnología Bluetooth más confiable por ser digital. En la programación del PIC, dicho dato se debe convertir en formato ASCII para ser enviado vía Bluetooth.



Figura 7. Recta que representa la proporcionalidad de los estados digitales posibles y la temperatura.

La C representa la temperatura y la D representa el valor digital, el cual se convierte en unos y ceros. La aplicación del celular recibe el dato de la temperatura codificado y convertido en ASCII a través de un protocolo Bluetooth; en la programación de la aplicación existen dos opciones que trabajan bajo el mismo formato: recibir el dato o variable a monitorear y enviar acciones de control. En el caso de la temperatura, se puede adaptar un punto de control de la misma, por ejemplo, si la temperatura al medirla el operador se excede de 50°C sonará una alarma en el móvil indicando que se debe efectuar una medida de control.

Para la comunicación inalámbrica se utiliza un módulo Bluetooth RF (Radio Frecuencia), el cual maneja todo los protocolos Bluetooth, como por ejemplo SPP (Protocolo Puerto Serial) y RFCOM (Genera un puerto COM virtual); presenta un lenguaje de programación de máquina.

## Pruebas de Campo (Evaluación)

Para evaluar la aplicación móvil desarrollada se establece dos formas adicionales de comunicación en el módulo electrónico que contiene el microcontrolador fuera de la tecnología Bluetooth, como lo es una etapa de comunicación serie haciendo uso de un MAX 232y el protocolo RS-232 (serial). Además, se agrega un display a un puerto del microcontrolador para que se registre constantemente la temperatura; estas dos opciones se presentan como métodos alternativos para comparar la temperatura registrada por la aplicación en el celular, el LCD y la computadora, determinando así el funcionamiento óptimo del sistema. Para observar la temperatura en una computadora se necesita de un programa que maneje el puerto COM de la misma. Por esta razón se construye una aplicación en lenguaje Visual Basic capaz de gestionar la comunicación; la figura 8 presenta la aplicación realizada para tal fin.

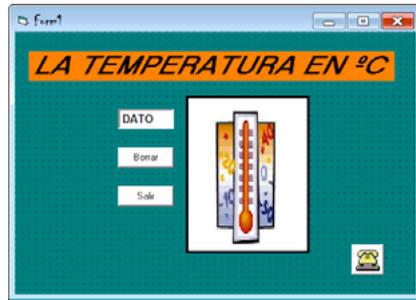


Figura 8. Interfaz de la aplicación en Visual Basic para la comunicación serial.

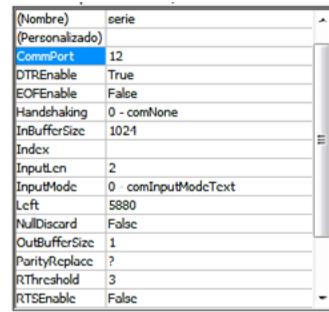


Figura 9. Barra para establecer los parámetros de comunicación serial.

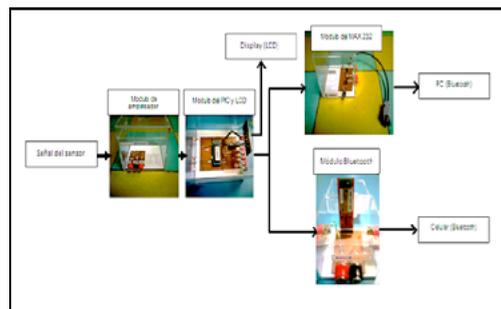


Figura 10. Montaje prueba piloto de comunicación Bluetooth, serial y visión del dato en LCD

De forma simultánea el sistema muestra la temperatura o variable a monitorear en las tres opciones como se ve en la figura 10, es decir, por medio del display (LCD), de la computadora y de la tecnología Bluetooth del celular; esto permite determinar el buen funcionamiento de la aplicación Java, las máquinas virtuales propuestas por SUN y de cada componente del sistema.

## Conclusión

El sistema desarrollado representa un beneficio en tiempo dentro del proceso de supervisión de variables en una planta o industria y la reducción de costos, debido a que no requieren de sistemas sofisticados, costosos y difíciles de manejar reduciendo el tiempo en las capacitaciones para los operarios, una herramienta como el celular es práctica debido a su uso continuo; la supervisión y control de cualquier variable o sistema se puede llevar a cabo desde el teléfono móvil de cada trabajador. El objetivo de desarrollar prototipos industriales como éste es aprovechar y explotar avances tecnológicos que están en constante actualización, que facilitan y brindan mejor calidad en las actividades laborales del hombre, partiendo de evitar riesgos a los trabajadores o facilitar el proceso de recolección de información dentro de una línea de producción en lugares remotos que ponen en riesgo la vida de cualquier operario y facilita el acceso a sitios de operación riesgosa.

Este prototipo de comunicación industrial con tecnología Bluetooth permite la creación de redes de monitoreo y control de procesos en una planta con objetivos de automatización; sin embargo, se debe tener en cuenta que la tecnología Bluetooth tiene como limitante el corto alcance de comunicación que no permite comparación con otras tecnologías como WIFI. Por el contrario, es una tecnología con versiones para todo tipo de usos y compatible con la mayor parte de lenguajes de comunicación; los diferentes lenguajes de programación e integración de las tecnologías con las que ser humano interactúa a diario se muestran como herramientas facilitadoras de procesos que hacen de la automatización un camino más fácil de llevar a cabo para cualquier empresa o entidad industrial.

## Referencias

- Barrón, Estrada, María Lucía; Stansifer, Ryan.(2003). Inheritance, Generics and Binary Methods in Java. Computación y Sistemas, pp. 113-112.
- Galvez Sergio, Ortega Lucas. (2003). Universidad de Malaga. Java a tope: J2ME (Java 2 Micro Edition). Edición Electrónica: <http://www.lcc.uma.es/~galvez/ftp/libros/J2ME.pdf>.
- Gamma Erich, Helm Richard, Johnson Ralph, Vlissides John. Design Patterns.(2007). Elements of Reusable Object-Oriented Software. Addison Wesley (GoF- Gang of Four).
- Gómez R. A, Galvis A. H, Mariño O. (1998). Ingeniería de software educativo con modelaje orientado por objetos: un medio para desarrollar micromundos interactivos. Informática Educativa, Vol 11, No. 1, UNIANDES - LIDIE pp. 9-30.
- Linares Ruiz, Ricardo; Quijano Vásquez, Jimmy Andrés; Holguín Londoño,

Germán Andrés. (2004). Implementación del protocolo Bluetooth para la conexión inalámbrica de dispositivos electrónicos programables. Scientia et Technica, pp.31-36.

Márquez Ramos, Hans Raúl; Hernández, Cesar; Pedraza, Luis F. (2012). Sistema electrónico para control de actuadores mediante Bluetooth. Tecnura, pp.126-134.

Martin Fowler, KendallScott. (1999). UML Gota a Gota.Pearson Educación.