

Aplicaciones Android para el control de sistemas mecatrónicos

Jesús Medina Cervantes

Universidad Veracruzana

jemedina@uv.mx

Joaquín Santos Luna

Universidad Veracruzana

joasantos@uv.mx

Edgar Mejía Sánchez

Universidad Veracruzana

edmejia@uv.mx

Rubén Villafuerte Díaz

Universidad Veracruzana

rvillafuerte@uv.mx

Resumen

Se presentan dos ejemplos de aplicaciones Android desarrolladas para el control de sistemas mecatrónicos. Dichas aplicaciones tienen como finalidad apoyar el aprendizaje de estudiantes de ingeniería en tópicos de comunicación inalámbrica y control de sistemas mecatrónicos. Las aplicaciones Android fueron desarrolladas empleando el SDK Eclipse. La primera aplicación se trata del control de un robot móvil mediante un teléfono inteligente o tablet. El usuario sólo tiene que inclinar o girar el dispositivo para controlar el desplazamiento del robot móvil. La comunicación con el robot móvil se hace de forma inalámbrica mediante un módulo bluetooth. La segunda aplicación se trata de un sistema mini scada que permite controlar a través de internet un sistema mecatrónico que incluye un motor, una lámpara y un sensor. La aplicación permite al usuario monitorear la variable del sensor y accionar el motor

y la lámpara desde cualquier parte del mundo. Estas aplicaciones permiten que los estudiantes cambien su paradigma sobre los dispositivos móviles como medios para entretenimiento y visualicen sus potencialidades y las de las tecnologías de comunicación como herramientas altamente productivas y a su alcance para que adquieran competencias en el desarrollo de este tipo de aplicaciones.

Palabras clave: Android, bluetooth, internet, robot móvil, scada.

Introducción

Los sistemas mecatrónicos hoy en día abarcan un gran campo en la ingeniería, pues se desarrollan sistemas híbridos de control como robots para diversas aplicaciones, subsistemas para el control de automóviles, cámaras fotográficas con autoenfoco, etc., por mencionar algunos. Surgieron como la integración de la mecánica y la electrónica en un producto, sin embargo se consolidaron al integrar los sistemas computacionales, la inteligencia artificial, teoría de control y más.

Por otro lado, el desarrollo en las tecnologías de información y comunicación ha cambiado drásticamente el ritmo de vida de los seres humanos. En particular el internet ha permitido que las personas accedan a una fuente inagotable de información y les ha permitido conocerse y acercarse como nunca antes. La integración de los sistemas de comunicación a los sistemas mecatrónicos ha permitido que estos sean más “inteligentes” y faciliten nuestra vida cotidiana.

En años recientes, el mundo en general adoptó dos dispositivos inteligentes, que se han vuelto incluso indispensables para algunos; tales dispositivos son el Smartphone y la tablet. Estos dispositivos incluyen un sinnúmero de aplicaciones orientadas para diferentes fines, aunque, el grueso de la población los ocupa como medios de entretenimiento y comunicación por redes sociales. Sin embargo, la creación de aplicaciones que apoyan la productividad en diferentes ramas ha crecido paulatinamente. El hardware que estos

dispositivos ofrecen, abren la posibilidad de interactuar y controlar sistemas mecatrónicos con relativa facilidad. Es por ello, que los estudiantes de ingenierías como la mecánica, eléctrica, industrial y en especial la Mecatrónica, deben conocer los principios fundamentales para el desarrollo de este tipo de sistemas, pues la globalización exige cada vez más a profesionistas con competencias acordes a los avances tecnológicos. En el presente artículo se aborda la creación de aplicaciones para el monitoreo y control de sistemas mecatrónicos mediante el sistema operativo Android, con fines de apoyar el aprendizaje en tópicos de comunicación inalámbrica, monitoreo y control. Se presentan dos proyectos de sistemas mecatrónicos que serán controlados por su respectiva aplicación Android.

ROBOT MÓVIL

En la Facultad de Ingeniería se han desarrollado robots móviles con propósitos de investigación (Reyna, 2009), (Medina, Reyna, Santos, Osorio, & Rivera, 2009), (Álvarez & Tlaxcala, 2012), (Bermudes & Saturnino, 2013), y como proyectos de aprendizaje en la carrera de Ingeniería Mecatrónica, en las experiencias educativas de circuitos lógicos, sistemas mecatrónicos y microprocesadores y microcontroladores. Como parte de esta estrategia, se ha desarrollado un robot móvil que sea controlado a distancia mediante comunicación bluetooth, con la finalidad de apoyar en el aprendizaje y la generación de competencias en la experiencia educativa de sistemas de comunicación, además de las otras experiencias educativas mencionadas anteriormente.

El robot móvil es de tipo diferencial, por lo que consta de dos ruedas motrices alineadas en el mismo eje y una tercera rueda que sirve únicamente de apoyo, llamada generalmente "rueda loca". Las ruedas motrices son movidas por motores de corriente directa con caja reductora, lo cual incrementa su par de torsión y les permite mover al robot móvil con facilidad.

El control de los motores se realiza mediante un microcontrolador PIC. Para este proyecto en particular, se tiene como requerimiento principal que el microcontrolador a utilizar cuente con un módulo de comunicación serial que trabaje bajo el protocolo RS-232. Lo anterior se debe a que el módulo bluetooth

empleado utiliza dicho protocolo para comunicarse con el microcontrolador. El módulo bluetooth que se utilizó para este proyecto es modelo HC-06, el cual por defecto está configurado en modo esclavo, a 9600 baudios, sin paridad y 1 bit de parada. Esta configuración se puede cambiar, sin embargo en este proyecto se dejaron los valores por defecto. Existe un gran número de microcontroladores PIC que satisfacen dicho requisito, sin embargo, en este proyecto se empleó el PIC18F2550 para tal fin. Este microcontrolador cuenta con características extras que lo hacen muy versátil y aunque en este proyecto no fueron utilizadas, se pueden aprovechar más adelante si se desean agregar otras funciones al robot móvil. Para energizar los motores de corriente directa se utilizó el circuito integrado L293B, el cual contiene dos puentes H con los que se activan ambos motores y se controla su sentido de giro. En la figura 1 se presenta el diagrama esquemático del circuito de control del robot móvil.

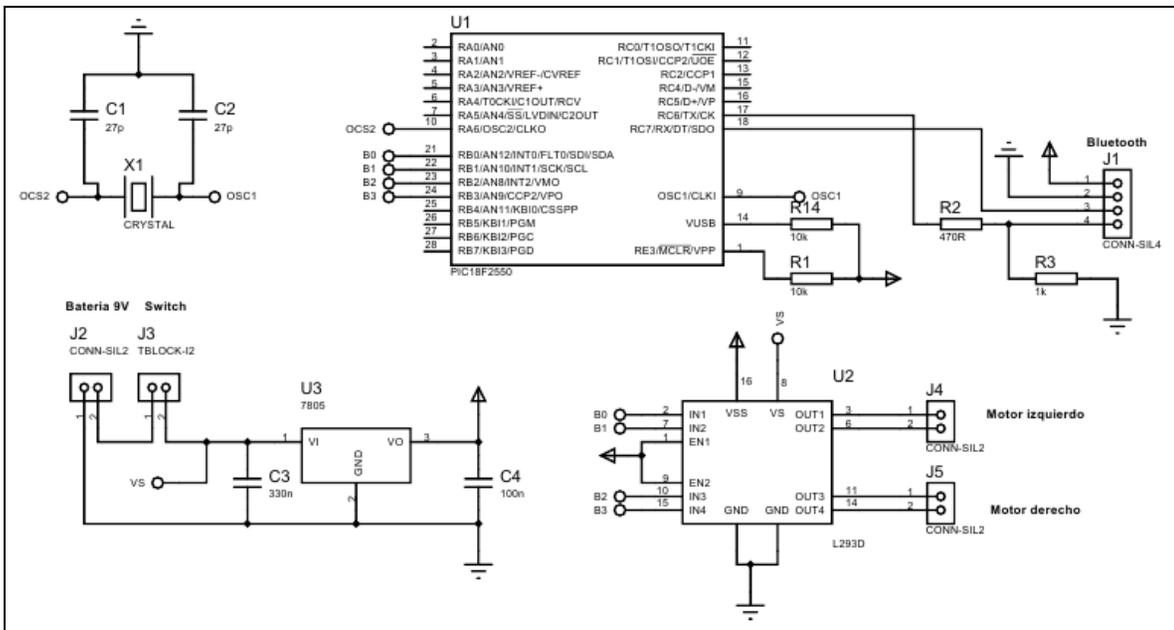


Figura 1. Circuito electrónico del robot móvil.

Los materiales que fueron necesarios para la construcción del robot móvil se presentan en la tabla 1. En la figura 2 se muestra el robot móvil construido en su totalidad.

Tabla 1. Lista de materiales para la construcción del robot móvil.

CANTIDAD	MATERIAL
1	Microcontrolador PIC18F2550
1	Oscilador de 4MHz
2	Capacitores de 27pF
1	Driver L293B
1	Módulo bluetooth
2	Motores de corriente directa con caja reductora
2	Ruedas
1	Regulador de voltaje 7805
1	Capacitor de 330nF
1	Capacitor de 100nF
1	Resistencias de 10k Ω
1	Resistencias de 1k Ω
1	Resistencias de 470 Ω
1	Placa de cobre para PCB
1	Batería de 9V
1	Conector para batería de 9V

1	Soldadura
1	Cautín



Figura 2. Robot móvil controlado vía bluetooth.

La programación del circuito de control del robot móvil fue realizada en lenguaje C, mediante la versión gratuita de prueba del compilador PCW (Custom Computer Services, 2014). El robot móvil recibirá un dato entero desde un teléfono inteligente o tablet de forma inalámbrica a través del módulo bluetooth HC-06, el PIC18F2550 procesará la información y controlará la activación y sentido de giro de los dos motores de corriente directa, para que el robot móvil en consecuencia ejecute uno de los cinco estados de movimiento siguientes: alto, adelante, atrás, giro a la derecha o giro a la izquierda. En la figura 3 se muestra el diagrama de flujo del funcionamiento del robot móvil.

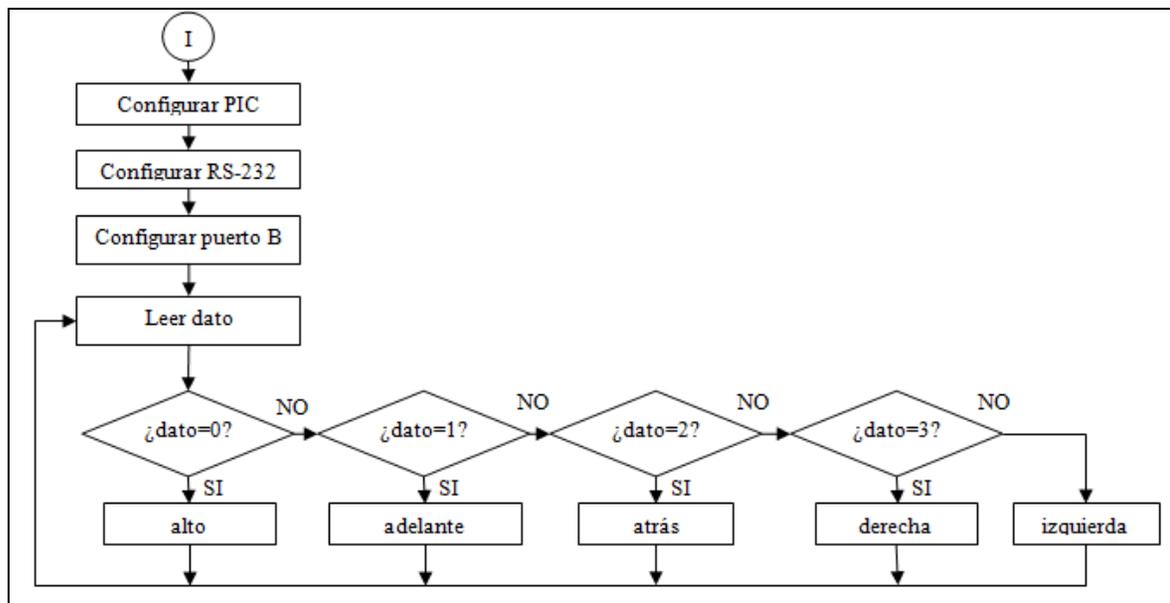


Figura 3. Diagrama de funcionamiento del robot móvil.

APLICACIÓN ANDROID PARA CONTROLAR EL ROBOT MÓVIL

Las dos aplicaciones Android presentadas en este artículo fueron desarrolladas empleando el SDK Eclipse de código abierto y licencia libre, versión Juno en plataforma Windows (The Eclipse Foundation, 2014). La versión de Android para la que fueron programadas las aplicaciones es “Android 4.0 Ice Cream Sandwich”, por lo cual funcionan en dispositivos Android con esta versión o superior.

El desarrollo de la aplicación para controlar al robot móvil se basó en el ejemplo llamado “BluetoothChat”, de licencia libre (developer.android.com, 2014). Este ejemplo permite que dos dispositivos Android realicen un chat de texto en dos direcciones, es decir, que ambos dispositivos pueden recibir y enviar texto. Las funciones que incluye dicha aplicación son: buscar otros dispositivos bluetooth, solicitar el uso del adaptador bluetooth del dispositivo para emparejar los dispositivos, establecer los sockets RFCOMM, conectarse a un dispositivo remoto y transferir información a través de bluetooth. Esta aplicación emplea los elementos “ListView”, “EditText” y “Button”. Para enviar un mensaje de texto, el usuario escribe el mensaje deseado en la caja de texto y después presiona un botón para enviarlo. Dicho mensaje aparece desplegado en la pantalla del dispositivo Android. Los mensajes recibidos también son desplegados en la

pantalla del dispositivo, tal como lo hacen aplicaciones populares como WhatsApp, Hangouts y Telegram, por mencionar algunas.

La aplicación desarrollada para este proyecto mantiene las mismas funciones básicas que la aplicación mencionada, para la comunicación bluetooth. Sin embargo, esta se diferencia principalmente en que el dispositivo Android ahora solamente enviará datos, no recibirá ninguno porque no es necesario para el propósito que ha sido creada. Además, los datos que envía son números y no cadenas de caracteres. La interfaz o layout es diferente también, pues en esta aplicación se empleó el elemento “ImageView” para mostrar la imagen de un automóvil (public domain vectors, 2014). Más aún, para enviar los datos no se requiere que el usuario presione ningún botón, pues la aplicación se ha diseñado para que haga uso del sensor acelerómetro que incluye el dispositivo Android y con base en su lectura se controle el movimiento del robot móvil. La aplicación desarrollada se ha denominado “Bluetooth carro”, en la figura 4 se muestra su pantalla principal.

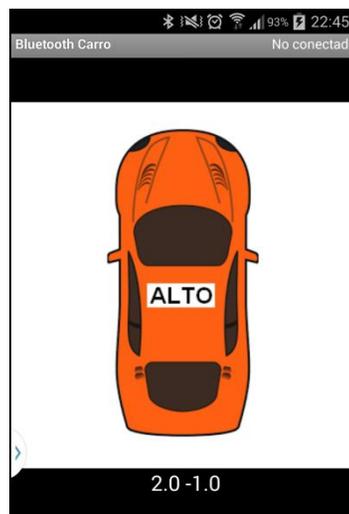


Figura 4. Aplicación “Bluetooth carro”.

A continuación se describe su funcionamiento. El robot móvil debe ponerse en funcionamiento antes de iniciar la aplicación. Enseguida el usuario debe tomar el dispositivo Android en posición horizontal y

ejecutar la aplicación “Bluetooth carro”. Si el módulo bluetooth del dispositivo no está activado, la aplicación solicitará al usuario permiso para activar el módulo, tal como se muestra en la figura 5, en caso contrario la aplicación se cerrará automáticamente.



Figura 5. Solicitud de permiso para activar el módulo bluetooth del dispositivo Android.

Para conectarse al robot móvil el usuario debe presionar el botón de opciones del dispositivo Android, de esta manera aparece en la parte inferior un menú con dos opciones, “Conectar un dispositivo” y “Hacer visible”, ver figura 6.



Figura 6. Menú de la aplicación “Bluetooth carro”.

Cuando el usuario elige la opción “Conectar” aparece una lista desplegable de los dispositivos bluetooth con los cuales ya se ha emparejado y conectado anteriormente el dispositivo Android, ver figura 7.



Figura 7. Lista de dispositivos disponibles para realizar la conexión bluetooth.

Como ya se mencionó anteriormente, el módulo bluetooth que se utilizó es el HC-06. Al elegir el módulo adecuado, se establece la conexión entre el dispositivo Android y el robot móvil. Para controlar el robot móvil el usuario sólo tiene que inclinar el dispositivo, hacia adelante o hacia atrás, movimiento conocido normalmente como “pitch”, en consecuencia el robot móvil se moverá hacia adelante o hacia atrás. Si el usuario inclina el dispositivo hacia la izquierda o hacia la derecha, movimiento conocido comúnmente como “roll”, el robot móvil girará hacia la izquierda o hacia la derecha en concordancia. Si el usuario mueve el dispositivo móvil hacia su posición horizontal, entonces el robot móvil se detendrá. Cabe señalar, que se programó la aplicación para que los movimientos sucedan cuando el dispositivo Android se ha inclinado de 15° en adelante, para cualquier dirección, dando así mayor comodidad al usuario, pues no es necesario que el dispositivo se encuentre exactamente en la posición horizontal para que el robot móvil se detenga. En la figura 8 se muestran imágenes de los estados de movimiento del robot móvil. En tales imágenes se muestran dos cantidades en la parte inferior del dibujo del automóvil. Estas cantidades representan los ángulos de inclinación “pitch” (del lado izquierdo) y “roll” (del lado derecho), los cuales son obtenidos por el acelerómetro del dispositivo Android.

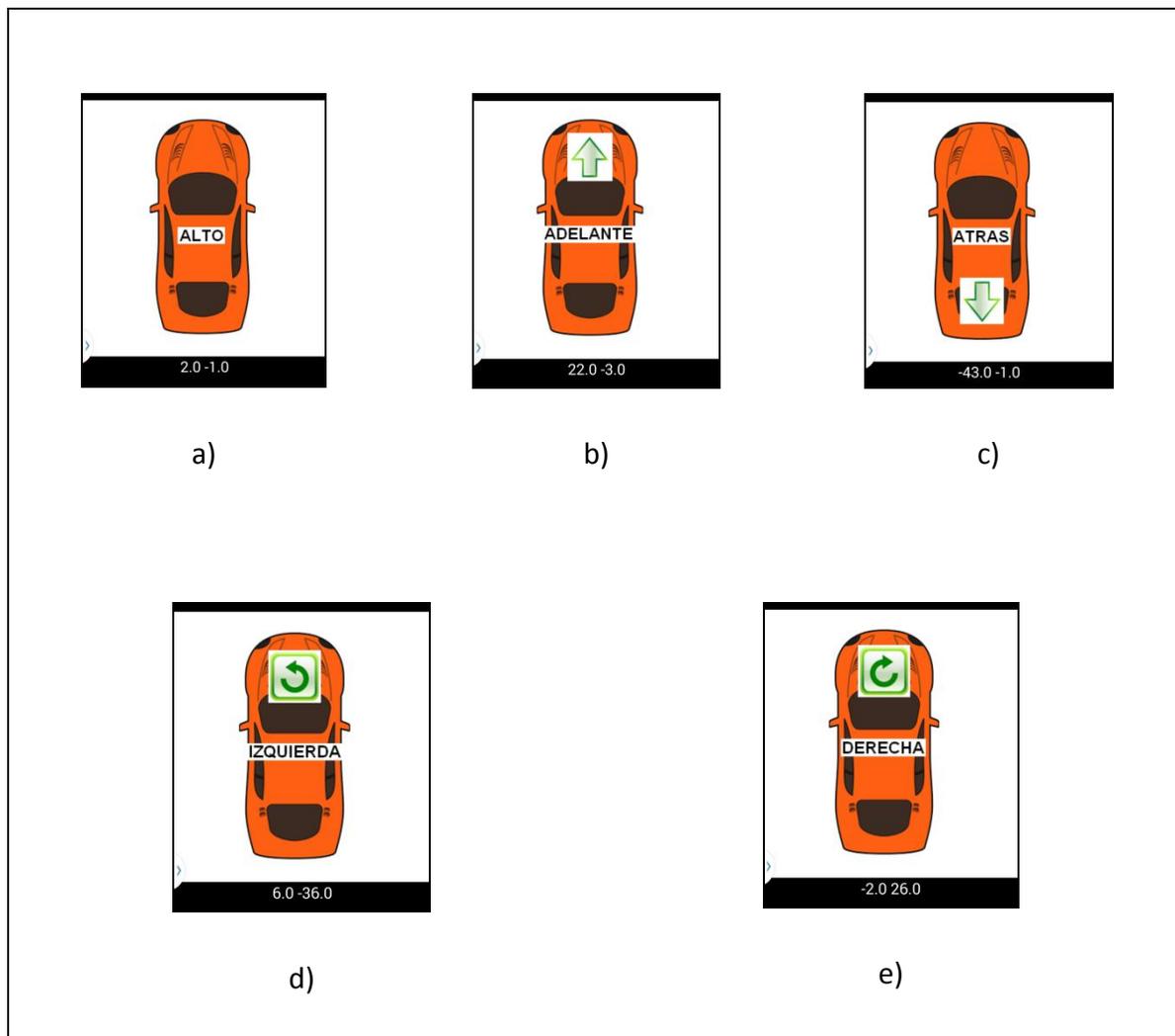


Figura 8. Estados de movimiento del robot móvil mostrados por la aplicación.

SISTEMA MECATRÓNICO

El desarrollo de sistemas mecatrónicos para aplicaciones diversas, son tareas o proyectos de aprendizaje comunes para los estudiantes de la carrera de Ingeniería Mecatrónica. Con el desarrollo de la tecnología de comunicaciones, cada vez es más común que los sistemas o equipos cuenten con la posibilidad de comunicarse con otros dispositivos o sistemas que supervisen su funcionamiento o estado particular en cualquier instante de tiempo. En el sector industrial, la supervisión y control de los procesos es de vital importancia, por ello se han desarrollado sistemas SCADA (supervisory control and data acquisition) que

facilitan la retroalimentación a distancia en tiempo real con los dispositivos de campo, tales como sensores y actuadores, y controlan el proceso automáticamente. Así mismo, permiten la intervención de usuarios autorizados para modificar el comportamiento del proceso. Además, los sistemas SCADA generan toda la información que permite gestionar el control de la producción, control de calidad y almacenamiento de datos.

Por esta razón, para generar competencias profesionales básicas en el desarrollo y manejo de sistemas SCADA, el segundo proyecto que se presenta en este artículo es un sistema mecatrónico que se encarga de controlar un motor de corriente directa y una lámpara, así como de recibir la señal analógica de un sensor. Este sistema mecatrónico didáctico puede tener aplicaciones industriales diversas. Por ejemplo, suponga que en un proceso cierta sustancia debe ser calentada hasta alcanzar una temperatura determinada. Cuando esto ocurra, se apaga el calefactor y se pone en marcha un agitador para que se obtenga una mezcla homogénea. En este ejemplo, la lámpara representaría al calefactor, el motor de corriente directa representaría al agitador y la lectura analógica representaría al sensor que monitorea la temperatura de la sustancia.

El sistema mecatrónico que se presenta fue implementado nuevamente con el microcontrolador PIC18F2550. Para energizar el motor de corriente directa se utilizó también el circuito integrado L293B. En la figura 9 se presenta el diagrama esquemático del sistema mecatrónico.

1	Motor de corriente directa
1	Led
1	Regulador de voltaje 7805
1	Capacitor de 330nF
1	Capacitor de 100nF
1	Resistencias de 10kΩ
1	Resistencias de 1kΩ
1	Resistencias de 470Ω
1	Protoboard
2	Batería de 9V
1	Conector para batería de 9V

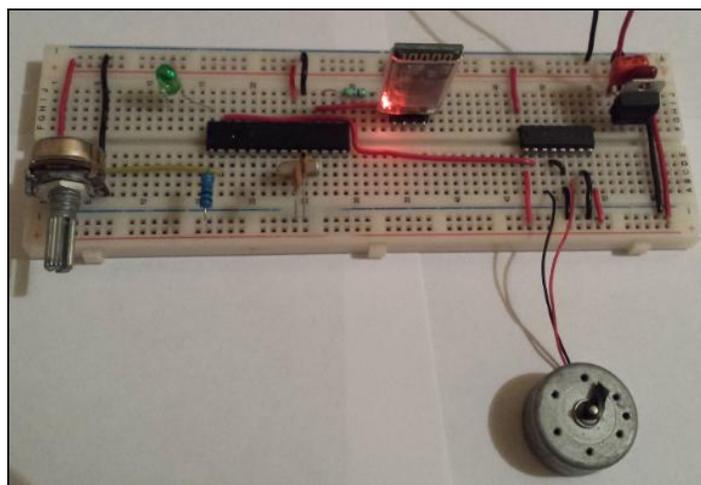


Figura 10. Sistema mecatrónico.

SERVIDOR SCADA

Como ya se mencionó, el sistema mecatrónico va a ser monitoreado y controlado mediante un sistema SCADA a través de internet. La estrategia presentada en este proyecto fue la de establecer un sistema SCADA servidor en una computadora, a partir de la cual se puede monitorear y controlar al sistema mecatrónico, tal como ocurre en los sistemas industriales actualmente. La comunicación entre el servidor SCADA y el sistema mecatrónico se realiza mediante el protocolo RS-232. Aunado a esto, se desarrolló una aplicación Android mediante la cual es posible conectarse a través de internet mediante el protocolo TCP/IP para controlar al sistema mecatrónico desde una red local o desde cualquier parte del mundo.

El sistema SCADA servidor fue desarrollado con la versión “Express” de Visual C# 2010. En la figura 11 se presenta la interfaz de usuario del servidor SCADA, el cual fue llamado “Servidor1”. Como puede observarse, en la interfaz de usuario del servidor SCADA se indica la dirección IP de la computadora en la que corre el servidor, así como el número del puerto por el cual se transmitirán los datos. La interfaz tiene un botón para activar y desactivar el servidor. La interfaz cuenta también con los botones para controlar el motor y la lámpara, así como una barra indicadora del valor analógico del sensor. Así mismo, en la interfaz se observa el botón que permite al servidor conectarse mediante el puerto serial al sistema mecatrónico. Por último, la interfaz del servidor también cuenta con la posibilidad de activar una cámara web, con la cual se puede monitorear al sistema mecatrónico de manera visual.

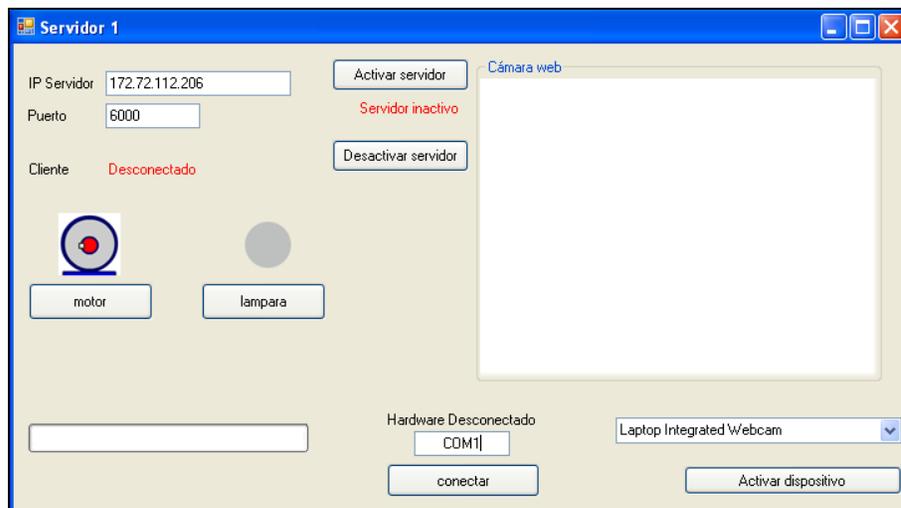


Figura 11. Interfaz de usuario del Servidor SCADA.

El sistema servidor SCADA por sí mismo puede monitorear y controlar al sistema mecatrónico. Sin embargo, si se desea monitorear y controlar el sistema mecatrónico desde internet, es necesario que el usuario active el servidor para que la aplicación Android pueda comunicarse con el servidor y a través de él pueda controlar al sistema mecatrónico. Para realizar la conexión entre el servidor y el sistema mecatrónico es necesario que primero se conecte el módulo bluetooth de la computadora con el módulo bluetooth HC-06 del sistema mecatrónico. En la figura 12 se muestra la conexión entre ambos módulos. Una vez hecho lo anterior, en el servidor SCADA el usuario debe escribir el puerto COM adecuado y presionar el botón “conectar”.



Figura 12. Conexión entre módulos bluetooth de servidor y sistema mecatrónico.

APLICACIÓN ANDROID PARA CONTROLAR EL SISTEMA MECATRÓNICO

La aplicación Android desarrollada para controlar al sistema mecatrónico fue llamada “scadainternet”. Esta es una aplicación cliente que emplea sockets TCP/IP para comunicarse a través de internet con el servidor SCADA (android, 2014). Al igual que el servidor SCADA, la aplicación scadainternet requiere que el usuario indique la dirección IP y el número de puerto al cual se debe conectar, que en este caso será la misma dirección IP del servidor, si se conectará de manera local; pero será la dirección IP estática a la cual se conecta el servidor, si se conectará desde cualquier otra red. En la aplicación el usuario escribe esta información y después debe activar un “checkbox” para conectarse con el servidor. Mediante un texto la aplicación indica al usuario que se ha conectado con el servidor.

La aplicación scadainternet cuenta con dos “toggleButton”, con los cuales se controla al motor y la lámpara. Para ello, estos botones tienen como fondo la imagen del motor y de la lámpara, respectivamente. Así, el usuario sólo debe presionar sobre la imagen respectiva para controlar al elemento deseado. Además, la aplicación cuenta con una barra de progreso que indicará el valor analógico de forma gráfica, así como de forma numérica. Esta información es actualizada cada 0.5 segundos, pero puede adaptarse a otro intervalo de refresco que se desee. En la figura 13 se muestra la interfaz de usuario de la aplicación. En la figura 14 se muestran imágenes del conjunto de sistemas en funcionamiento.

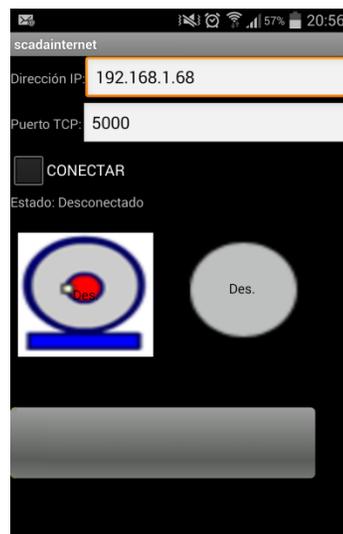


Figura 13. Aplicación “scadainternet”.

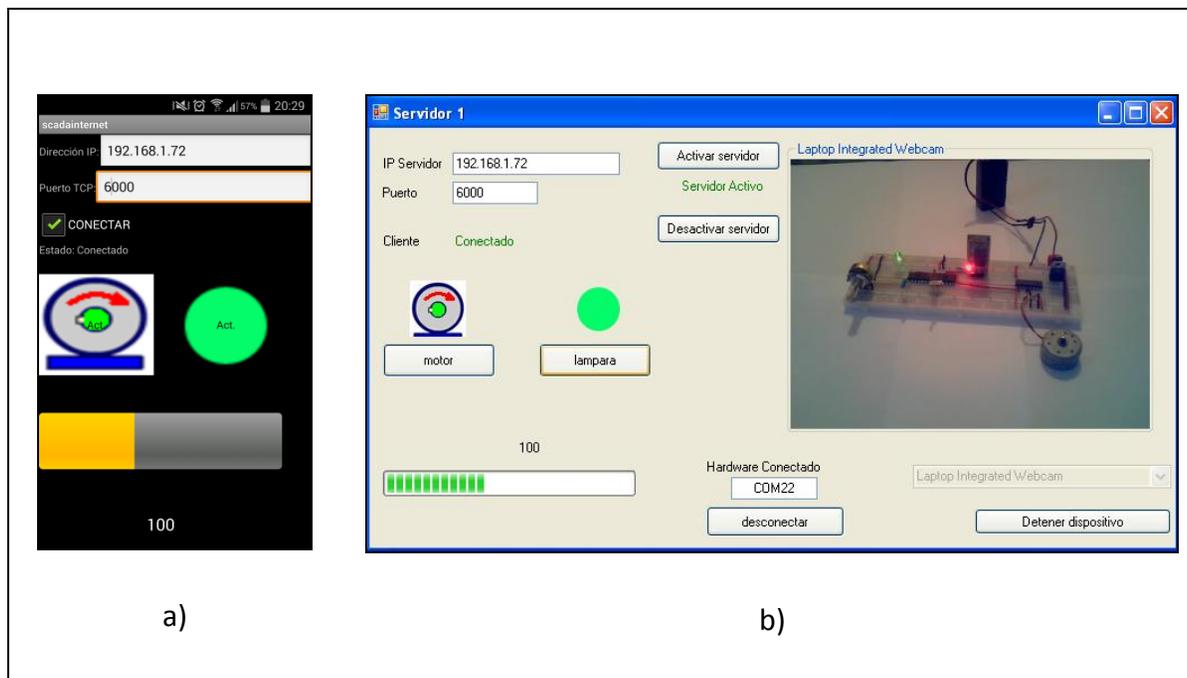


Figura 14. Monitoreo y control de un sistema mecatrónico mediante internet. a) Aplicación Android, b) servidor SCADA y sistema mecatrónico.

Conclusiones

En el presente artículo se describieron dos ejemplos de aplicaciones Android mediante las cuales se controlaron de forma inalámbrica dos sistemas mecatrónicos distintos. La primera aplicación fue controlada mediante comunicación bluetooth y la segunda mediante internet. Se realizaron pruebas de funcionamiento exhaustivas a ambos sistemas y estas resultaron exitosas. Se mostró también la factibilidad que tiene el desarrollo de sistemas didácticos que apoyan en la enseñanza de estudiantes de ingeniería, en especial para ingenieros eléctricos, mecánicos, industriales y sobretodo mecatrónicos. De esta manera, se espera que los estudiantes adquieran competencias en el uso de diferentes protocolos de comunicación, sobretodo de aquellos que actualmente han incrementado su uso a nivel industrial. Por

otro lado, el desarrollo de sistemas mecatrónicos básicos y funcionales permitirá a los estudiantes visualizar un gran número de aplicaciones en el campo laboral.

Por último, el que los estudiantes desarrollen aplicaciones Android para el control de sistemas mecatrónicos, les permitirá sin duda cambiar el paradigma de uso que actualmente dan a sus teléfonos inteligentes y tablets, por uno de mayor productividad.

Bibliografía

- Álvarez, A., & Tlaxcala, R. (2012). *Diseño y construcción de un robot móvil que evade obstáculos*. Mendoza: Tesis de licenciatura, Universidad Veracruzana.
- android. (23 de Junio de 2014). *developer android*. Obtenido de <http://developer.android.com/reference/java/net/Socket.html>
- Appin Knowledge Solutions. (2007). *Robotics*. Hingham: Infinity Science Press LLC.
- arduino. (23 de Junio de 2014). *Arduino*. Obtenido de <http://www.arduino.cc/es/pmwiki.php?n=>
- arduino. (23 de Junio de 2014). *Arduino*. Obtenido de <http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardEthernet>
- Bermudes, R., & Saturnino, A. (2013). *Diseño e implementación de un robot móvil explorador comandado a distancia*. Mendoza: Tesis de licenciatura, Universidad Veracruzana.
- Craig, J. (2006). *Robótica, 3a. Edición*. México: Pearson Educación.
- Custom Computer Services. (11 de Agosto de 2014). *PCWHD IDE Compiler for Microchip PIC10/12/16/18/24/dsPIC Devices*. Obtenido de http://www.ccsinfo.com/product_info.php?products_id=PCWHD_full
- developer.android.com. (16 de Mayo de 2014). *Developers*. Obtenido de developer.android.com/samples/BluetoothChat/index.html

- González, G. (Mayo de 2011). Diseño de un brazo robótico manipulador de piezas por medio del software de elementos finitos Ansys. *Tesis de licenciatura*. Camerino Z. Mendoza, Veracruz, México: Universidad Veracruzana.
- Humusoft and The MathWorks. (Octubre de 2004). Virtual Reality Toolbox For Use with MATLAB and Simulink, User's Guide, Version 4. Natick, Massachusetts, USA.
- Marchand, P., & Holland, T. (2003). *Graphics and GUIs with MATLAB, 3rd ed.* USA: Chapman & Hall, CRC.
- Medina, J., Reyna, J., Santos, J., Osorio, A., & Rivera, V. (2009). Diseño y construcción de un robot seguidor de línea controlado por el PIC16F84A. *8º Congreso Nacional de Mecatrónica, soluciones y aplicación de la mecatrónica en la industria* (págs. 76-81). Veracruz: Asociación Mexicana de Mecatrónica A.C.
- public domain vectors. (2 de Junio de 2014). *publicdomainvectors.org*. Obtenido de <http://publicdomainvectors.org/es/vectoriales-gratuitas/Naranja-carreras-coche-vector-de-la-imagen/9687.html>
- Reyes, F. (2012). *MATLAB Aplicado a Robótica y Mecatrónica*. México: Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V.
- Reyna, J. (2009). *Diseño y construcción de un microrobot seguidor de línea controlado por un microcontrolador PIC16F84*. Mendoza: Tesis de Licenciatura, Universidad Veracruzana.
- Spong, M., & Vidyasagar, M. (1989). *Robot dynamics and control*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- The Eclipse Foundation. (21 de Octubre de 2014). *eclipse*. Obtenido de <https://eclipse.org>
- Vera, R. (9 de Septiembre de 2013). Construcción y control de un brazo robótico manipulador de piezas. *Tesis de licenciatura*. Camerino Z. Mendoza, Veracruz, México: Universidad Veracruzana.
- Y. L. Gu, E. (2013). *A Journey from Robot to Digital Human, Mathematical Principles and Applications with MATLAB Programming*. New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.