



Innovation in research and engineering education:
key factors for global competitiveness

Innovación en investigación y educación en ingeniería:
factores claves para la competitividad global

PROPUESTA DE UN LABORATORIO DE ACCESO REMOTO PARA LA ENSEÑANZA DE LA ROBÓTICA INDUSTRIAL

Jaime Alberto Buitrago

**Universidad del Quindío
Armenia, Colombia**

Resumen

Actualmente, los laboratorios virtuales y en especial los laboratorios de acceso remoto están mejorando de una manera significativa e innovadora los sistemas educativos en ingeniería. En este trabajo se presenta el laboratorio de acceso remoto del robot Mitsubishi RV-2AJ de la Universidad del Quindío y la propuesta pedagógica para su uso como herramienta pedagógica en la enseñanza de robótica industrial. El laboratorio de acceso remoto está compuesto por el robot, un servidor, un esquema de comunicación y los usuarios. Dada la complejidad y dinámica del sistema, se presenta la arquitectura del laboratorio para la transmisión eficiente de información, que permite enlazar a los usuarios con el robot industrial. Además, se propone una metodología para la enseñanza en robótica industrial, que busca enriquecer y complementar las diferentes áreas temáticas a través de una serie de prácticas. Se utilizó el modelo pedagógico “Enseñanza para la Comprensión”, el cual define diferentes estrategias para que el estudiante cree métodos de razonamiento autónomo en torno a un objeto de conocimiento y tenga la capacidad de llevarlos a la práctica.

Palabras clave: laboratorio remote; robótica; enseñanza para la comprensión

Abstract

Currently, virtual labs and especially remote access labs are improving in a meaningful and innovative way the engineering education systems. In this paper, a remote access lab based on a robot Mitsubishi RV-2AJ robot at the Universidad del Quindío is presented as well as a pedagogical proposal to use this lab as a teaching tool in the field of industrial robotics. The remote access lab is composed by a robot, a server, a communication scheme and users. Given the complexity and dynamics of the system, this paper presents the lab architecture for the efficient transmission, allowing users to connect with the industrial robot. Furthermore, a methodology for teaching industrial robotics is proposed, which seeks to enrich and complement different subject areas through a series of experiments. This methodology uses the pedagogical model called “Teaching for Understanding”, which defines different strategies for the student to create

autonomous reasoning around an object of knowledge, and to allow the student to apply this knowledge in a real environment.

Keywords: *remote lab; robotics; teaching for understanding*

1. Introducción

Las redes de comunicaciones como Internet son más que un simple medio para la distribución de información, ya que proporciona un canal de comunicación de fácil acceso, alta disponibilidad, flexibilidad y bajo costo, permitiendo acceder de manera remota a diversas infraestructuras de experimentación, ya sean reales o simuladas. El adelanto de las herramientas desarrolladas para Internet, han hecho posible el acceso a un laboratorio de acceso remoto, ofreciendo la oportunidad de conectar robots a Internet, permitiendo que usuarios controlen y supervisen su funcionamiento en línea. El creciente interés en este campo es estimulado por el adelanto de las herramientas tecnológicas desarrolladas, que proporcionan el acceso a diversos recursos. El aumento de la utilización de Internet como medio de comunicación para estos sistemas, viene del hecho de que utiliza un protocolo de comunicación estándar, y que los medios físicos están fácilmente disponibles para estas aplicaciones, eliminando la necesidad de un desarrollo dedicado, de propiedad y creando una estructura de comunicación estable (Herrera, et al., 2006) (Rodríguez, et al., 2001).

Cuando el acceso remoto a los experimentos se complementa con metodologías de enseñanza y aprendizaje que guían al usuario en el acceso, configuración y ejecución de los experimentos, se conforma un laboratorio de acceso remoto para la educación. Trasladando este entorno a los procesos de enseñanza-aprendizaje actuales, los elementos necesarios para abordar la realización de actividades prácticas son los laboratorios virtuales y laboratorios remotos, accesibles a través de una red de comunicaciones o ambientes computacionales, donde el usuario realiza las prácticas de una forma similar a como si estuviese en las dependencias del laboratorio tradicional, simulando e interactuando con instrumentos virtuales y reales. (Rosado & Herreros, 2006)

En este artículo se describe el laboratorio de acceso remoto del robot Mitsubishi RV-2AJ como una herramienta de experimentación para la enseñanza de robótica industrial a través de uso de la metodología Enseñanza para la Comprensión. Este trabajo proporciona grandes herramientas para la educación en ingeniería, ya que suministra a los estudiantes un acceso instantáneo a un laboratorio de acceso remoto sin la inversión en viajes y gastos. Así mismo, es una solución económica para apoyar los cursos de aprendizaje a distancia, permitiendo el acceso a plataformas de experimentación de alto costo las 24 horas del día 7 días a la semana. Además, usando una metodología adecuada se puede fomentar el trabajo colaborativo y el aprendizaje activo en el estudiante. También tiene implicaciones para la investigación, ya que los laboratorios pueden compartir el acceso a sus recursos y crear infraestructuras de comunicación para la elaboración de proyectos de cooperación entre instituciones, como se desarrollo en (Caicedo, et al., 2009).

Este trabajo se desarrolló en el marco del proyecto de investigación “Framework para el desarrollo de laboratorios de acceso remoto sobre redes de alta velocidad (RENATA) en el área de la Robótica”. El objetivo de este proyecto es diseñar e implementar un esquema de trabajo para la creación de interfaces de experimentación que faciliten la formación e inclusión de nuevos laboratorios remotos de robótica a la red de alta velocidad RENATA (Red Nacional Académica de Tecnología Avanzada) (Renata, 2010).

2. Laboratorios remotos

En el laboratorio tradicional, los recursos en personas y espacios son restringidos, debido a su masificación y a problemas presupuestales; se requiere la presencia física del estudiante y la supervisión del profesor. Una solución a estos problemas la encontramos en la aplicación de los avances tecnológicos a la docencia y la investigación y, en concreto, al uso de los laboratorios virtuales y remotos.

Los laboratorios virtuales y remotos acercan y facilitan la realización de experiencias a un mayor número de alumnos, y no es necesario que el alumno y el laboratorio coincidan en el espacio. El laboratorio virtual permite simular fenómenos y modelos físicos, conceptos abstractos, mundos hipotéticos, controlar la escala de tiempo, entre otros, ocultando el modelo matemático y mostrando el fenómeno simulado de forma interactiva. Estos laboratorios virtuales han evolucionado, transformándose en laboratorios remotos, donde el alumno utiliza y controla los equipos reales a través de una red local o bien a través de Internet, esto gracias a la creciente complejidad de las actividades en un laboratorio tradicional y al desarrollo de las herramientas desarrolladas para Internet (Barnaby, 2001), (Khamis, 2006).

Un laboratorio de acceso remoto se puede definir como una herramienta que utiliza una red de comunicaciones, donde los usuarios y los equipos del laboratorio están separados geográficamente y las tecnologías de las comunicaciones se utilizan para acceder a estos equipos (Khamis, 2006), (Nuño & Basañez, 2004), (Rosado & Herreros, 2006). Estos laboratorios son sistemas que comparten equipos, permitiendo a los usuarios realizar prácticas a través de un computador conectado a Internet. A través de una interfaz Web, los usuarios pueden cambiar parámetros de control, realizar prácticas, observar y descargar resultados. Este tipo de laboratorios ofrecen el acceso a sistemas físicos, permitiendo la interacción a distancia y la realización de tareas que normalmente se desarrollan en forma local por medio del uso de las tecnologías de información y de las telecomunicaciones (Brady & Tarn, 1998). Estos laboratorios requieren de una conexión permanente entre el usuario y el sitio Web, además tienen la ventaja de no restringir la actividad a la asistencia sincronizada por instructores, estudiantes y horarios, es decir, tienen la potencia de proporcionar acceso constante siempre y cuando sea necesario (Nuño & Basañez, 2004), (Khamis, 2006).

La mayoría de los laboratorios remotos que utilizan Internet como medio de comunicación se estructuran con base al modelo cliente-servidor. Conceptualmente, los componentes de esta estructura son: los usuarios, el servidor y la infraestructura de comunicación. Esta infraestructura proporciona los mecanismos básicos de direccionamiento y transporte para que los usuarios y los servidores puedan comunicarse. El servidor se conecta directamente con el equipo a controlar, es decir, manipulan directamente el dispositivo y se encargan de interpretar e intercambiar datos con los usuarios, y los usuarios, son quienes ejecutan las aplicaciones que permiten supervisar y controlar el equipo.

3. Laboratorio de Acceso Remoto para el Robot Mitsubishi RV-2AJ

El laboratorio de acceso remoto para el robot Mitsubishi RV-2AJ está compuesto por el robot industrial, un servidor, un esquema de comunicación y los usuarios. La figura 1 muestra los componentes y la estructura general de laboratorio de acceso remoto. La infraestructura de comunicación para el laboratorio de acceso remoto tiene una arquitectura cliente-servidor de tres niveles, conformada por el robot industrial, el servidor y los usuarios. Además, de un esquema de comunicación que integra estos componentes, garantizando, la

confiabilidad del sistema, el transporte de información sin pérdidas ni interrupciones entre los usuarios y el robot.

El componente principal del sistema para la experimentación es el robot Mitsubishi RV-2AJ. Éste es un robot industrial con 5 grados de libertad y una articulación de tipo antropomórfico, que ofrece una capacidad de carga de hasta 2 Kg. Este robot tiene un alcance de 410 mm y combina una velocidad máxima de 2,100 mm/s con una repetibilidad de ± 0.02 mm lo que lo hace ideal para trabajar en entornos pequeños y especialmente en prácticas académicas e investigativas (RV-2AJ, 2011). El robot viene equipado con el controlador Mitsubishi CR1-571, que tiene como unidad central de procesamiento un microprocesador DSP/RISC de 64 bits, que permite la ejecución de hasta 32 programas en paralelo en modo multitarea, además de controlar todos los movimientos del robot. El controlador cuenta con un puerto serie RS-232C y 16 entradas y salidas digitales, los cuales son el equipamiento para comunicar el robot con el mundo exterior. La comunicación entre el controlador y el servidor se realiza a través de este puerto serie, el cual es la interfaz de comunicación con el servidor del sistema.

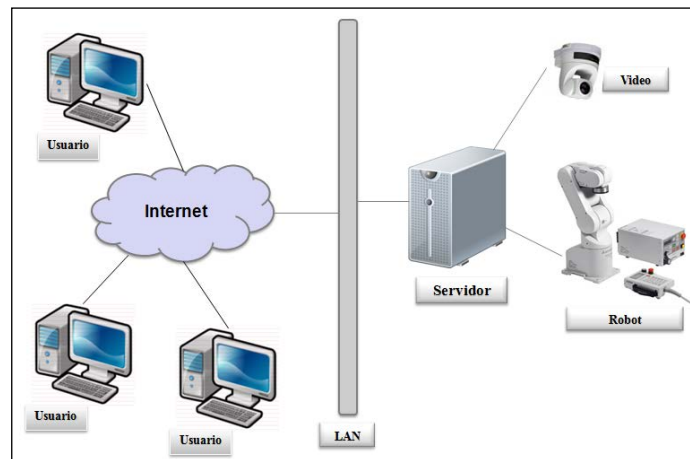


Figura 1. Estructura del laboratorio de acceso remoto

El servidor es el módulo que permite a los usuarios enviar y recibir información hacia y desde el controlador del robot industrial. Este servidor es uno de los componentes principales de la arquitectura de comunicación del laboratorio de acceso remoto, con la principal función de ser el intermediario entre el controlador del robot y los usuarios, dándole a este último la capacidad de supervisar y controlar el robot. Este servidor se encarga de realizar la gestión de los recursos del sistema, tales como: la base de datos, que maneja un esquema de información para el registro de usuarios y el almacenamiento de información; la seguridad de la aplicación por medio de técnicas de validación de conexiones de usuarios y el control automático de errores.

Para la realimentación visual de los usuarios, se utiliza un stream de video MJPG generado por la cámara de red Axis 214 PTZ, que actúa como servidor de video. Por medio de esta cámara se capturan imágenes a una resolución de 352x240 píxeles, en formato Motion JPEG a una frecuencia entre 10 y 15 imágenes por segundo.

Del lado del usuario, se construyeron interfaces gráficas para el control, supervisión y programación del robot industrial, permitiendo que los usuarios accedan al laboratorio a través de un navegador Web.

Además, estas interfaces se diseñaron teniendo en cuenta la metodología, el contenido del curso y las prácticas que desarrollarán los estudiantes.

4. Propuesta pedagógica

Las herramientas de aprendizaje para el curso de Robótica Industrial buscan enriquecer y complementar las áreas temáticas a través de prácticas experimentales utilizando el laboratorio de acceso remoto. Para la realización del curso, se propone el uso del modelo pedagógico Enseñanza para la Comprensión, el cual define diferentes estrategias para que el estudiante cree métodos de razonamiento en torno a un objeto de conocimiento y tenga la capacidad de llevarlos a la práctica (Jaramillo, et al., 2004). El objetivo fundamental, es poder elegir las partes más importantes del curso, en las que el profesor motive a sus alumnos a que indaguen y relaciones por ellos mismos diversas situaciones en las que los conceptos fundamentales de la asignatura pueden ser de sus propios intereses (Esteban & Henao, 2006). Este diseño es flexible, pues el profesor de acuerdo con su experiencia puede incluir experiencias de aprendizaje que normalmente no están en un currículo formal. De acuerdo con lo anterior se determinaron los siguientes elementos en el diseño del curso de Robótica Industrial:

Tópico generativo

La enseñanza para la comprensión propone la utilización de tópicos generativos como herramienta para estimular y facilitar el acceso a los nuevos conocimientos por parte de los estudiantes. Los tópicos generativos son conceptos fundamentales en la construcción y dominio de un área del conocimiento, y deben proveer conexiones y variedad de perspectivas en un grado suficiente como para apoyar el desarrollo de comprensiones profundas de los estudiantes (Stone, 1999). Además, el tópico generativo debe resultar de interés tanto a estudiantes como a docentes y debe poder vincularse con facilidad a sus experiencias y conocimientos previos.

Para el curso de Robótica Industrial, se propone que en las primeras sesiones el docente explique la importancia de la robótica en el contexto social, económico e industrial, y el impacto que tiene en la vida de las personas, buscando crear en los estudiantes interés y motivación por comprender y saber cómo usar este conocimiento. Se presentan videos de robots realizando actividades cotidianas, prestando servicios en el hogar, servicios de salud, actividades de entretenimiento, en fábricas e industrias, entre otras. De esta manera, el estudiante contextualizara al robot industrial como un elemento más del entorno. Las preguntas principales (tópicos generativos) deben reflejar lo que el docente quiere que sus estudiantes comprendan durante el curso. Además de establecer conexiones con la vida de los estudiantes para que resulten interesantes. Para el curso de robótica industrial se proponen las siguientes preguntas, como tópicos generativos:

- *Qué tipo de actividades puedo realizar con un robot industrial?*
- *Cómo lograr que un robot industrial interactúe con el entorno para realizar actividades de manera inteligente?*

Metas de comprensión

Las metas para la comprensión son aquellos objetivos que se desea que alcancen los estudiantes. Las metas de comprensión se definen por los hilos conductores y las metas a corto plazo. Los hilos conductores se relacionan con los procesos de desarrollo más generales del curso que se desea promover en los estudiantes (Esteban & Henao, 2006). El hilo conductor propuesto para el curso de Robótica Industrial es:

¿Qué debo saber para lograr que un robot industrial realice una actividad específica? Las metas a corto plazo hacen referencia a tópicos o niveles de desarrollo más específicos pero estrechamente relacionados con el tópico generativo. Estos tópicos o preguntas permiten razonar a través de la construcción de soluciones a problemas reales para comprender conceptos fundamentales. La tabla 1 muestra la relación entre estos tópicos y las metas del curso.

Tabla 1: Relación entre tópicos y metas de comprensión

Hilo Conductor	
<i>¿Qué debo saber para lograr que un robot industrial realice una actividad específica?</i>	
Tópicos	Meta asociada
<i>Por qué se utilizan robots con diferentes morfologías?</i>	Los estudiantes comprenderán los diferentes tipos de robots industriales, clasificándolos de acuerdo a su morfología. Así mismo, identificarán como influye la morfología del robot en la realización de una tarea.
<i>Qué es y cómo determinar el espacio de trabajo de un robot?</i>	Los estudiantes conocerán y analizarán la posición y la orientación de un robot industrial en su espacio de trabajo. También, deberán conocer y determinar la posición y orientación del robot.
<i>Qué movimientos debe realizar el robot para alcanzar una posición determinada?</i>	Los estudiantes comprenderán el modelo cinemático y dinámico de un robot industrial, para controlar sus tipos de trayectorias.
<i>Cómo se programa un robot industrial?</i>	Los estudiantes comprenderán que mediante la programación de un robot industrial, pueden implementar soluciones inteligentes a problemas de su entorno o una solución específica.
<i>Cómo se instalan los robots industriales en ambientes industriales?</i>	Los estudiantes comprenderán los criterios, normas y técnicas para el diseño y la implementación de sistemas robotizados para la solución de problemas en la industria. Además, estudiarán los aspectos generales y normas técnicas para la instalación y uso de sistemas robóticos en la industria.

Desempeños de Comprensión

El modelo pedagógico Aprender para Comprender busca que los estudiantes no reproduzcan los conocimientos aprendidos de manera casi idéntica sino que los utilicen como herramientas de desarrollo en aplicaciones que permitan enriquecer la comprensión del conocimiento y que tanto al estudiante como al docente tome conciencia de las fortalezas y los vacíos de esa comprensión, para reorientar los siguientes pasos del proceso enseñanza-aprendizaje. Los desempeños de comprensión involucran al estudiante en procesos de razonamiento en torno al tópico generativo y las metas de comprensión (Jaramillo, et al., 2004).

Durante el curso el estudiante realiza prácticas de laboratorio que le permitirán aplicar y confrontar los conocimientos teóricos frente a la realidad; para ello, se le brinda un conjunto de laboratorios guiados, los cuales permiten resolver retos con cada práctica. Para lograr lo anterior, se han creado diferentes prácticas de laboratorio por medio interfaces para el laboratorio de acceso remoto del robot industrial. La figura 2, muestra tres interfaces para desarrollar las prácticas de laboratorio, que cumple con los tópicos y las metas planteadas en la tabla 1.

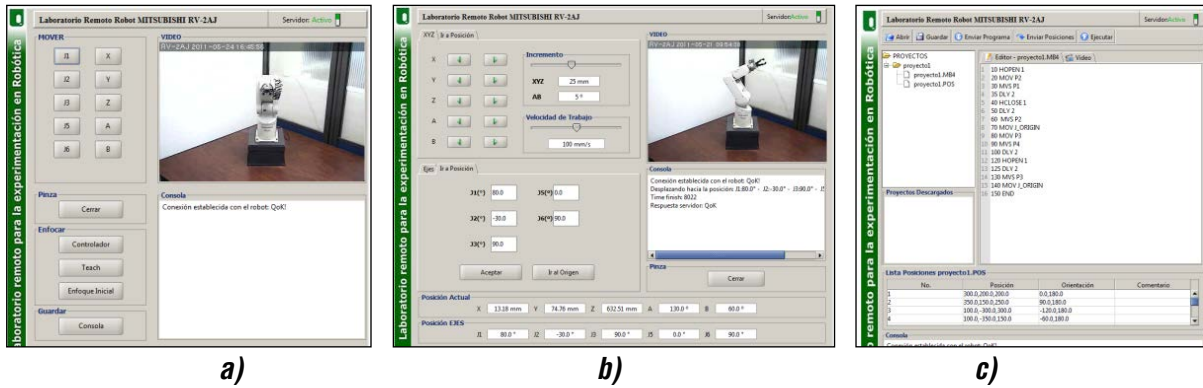


Figura 2. Interfaces para el laboratorio de acceso remoto

A través de la interfaz *a)* de la figura 2, se realiza un primer laboratorio donde los estudiantes conocen el robot industrial Mitsubishi RV-2AJ, el sistema de conexión, los ejes, entre otros. Así mismo, el espacio cartesiano y el funcionamiento de la herramienta final. Para un segundo laboratorio, se utiliza la interfaz *b)*, que tiene como metas el análisis de la posición y la orientación de un robot industrial en su espacio de trabajo. Además, de comprender el modelo cinemático directo e inverso del robot. Por último la interfaz *c)*, permite diseñar e implementar programas para el desplazamiento del robot por posiciones memorizadas, ejecutando así, programas en el lenguaje propio del robot, tales como “*Pick and Place*”.

Valoración Continua y Evaluación Final

La valoración continua tiene como objetivo fortalecer los logros y detectar los vacíos que requieren ser resueltos, de manera que el estudiante sienta la evaluación como una acción de apoyo y estímulo que lo involucra y lo compromete (Esteban & Henao, 2006). Con este objetivo, se propone organizar el curso en 10 sesiones teóricas, 6 sesiones de prácticas y 2 sesiones dedicadas a la presentación del trabajo de investigación del estudiante según su área de interés.

El estudiante debe generar informes de las experiencias y conclusiones logradas en el desarrollo de las actividades que definen las metas a corto plazo. Como trabajo final, cada estudiante demostrara la comprensión que tiene del curso a través de un trabajo de investigación desarrollado en equipo, relacionado con un área de aplicación específica de la robótica industrial, el cual se socializará mediante una exposición a todo el grupo. En este trabajo, el estudiante hace énfasis en cómo aplicar a su proyecto los conceptos que abarcan los hilos conductores y las metas a corto plazo a través de respuestas a las preguntas del tópico generativo definido al iniciar el curso.

5. Conclusiones

Se presenta el laboratorio de acceso remoto como una herramienta para la experimentación con un robot industrial a través de Internet. Esta interfaz presentó tres componentes principales: el robot industrial Mitsubishi RV-2AJ, un servidor que enlaza a los usuarios con el robot y las aplicaciones cliente para los usuarios. Cada uno de los componentes se enlaza por medio de una estructura de comunicación, que permite que los usuarios accedan a controlar y programar el robot industrial a través de Internet.

El laboratorio de acceso remoto es una herramienta pedagógica que facilita la comprensión de los conceptos teóricos vistos en un curso de robótica industrial, a través de prácticas que generar mapas

conceptuales, que permiten que el estudiante comprenda las actividades que un robot industrial puede realizar en entornos reales.

La metodología propuesta por el modelo de enseñanza para la comprensión es propicia para asignaturas de ingeniería como robótica industrial, en donde las prácticas de experimentación son fundamentales en la construcción de conocimientos. Así mismo, a través de los hilos conductores, se asegura que las temáticas sean pertinentes y coherentes con la meta de comprensión. Por otro lado, se mantiene continuamente la motivación, facilitando una evaluación continua y, de ser necesario, una reorganización de las temáticas de la asignatura para alcanzar nuevas metas de comprensión.

El conjunto de prácticas para el sistema de experimentación remoto permite acoplar la metodología de aprendizaje Enseñanza para la Comprensión. Bajo este esquema se plantean retos o problemas al estudiante, de tal forma que para resolverlos deba estudiar determinadas áreas temáticas de la robótica industrial y usar las interfaces proporcionadas por el laboratorio de acceso remoto.

6. Referencias

- Barnaby, D., 2001. *Techniques for Web Telerobotics*, Australia: Department of Mechanical and Materials Engineering University of Western Australia.
- Brady, K. & Tarn, T. J., 1998. *Internet-Based Remote Teleoperation*. Lexington, MA, USA, Proceedings IEEE International, pp. 65-70.
- Caicedo, E., Buitrago, J. & Calvache, B., 2009. Laboratorio Distribuido con acceso remoto para la enseñanza de la Robótica. *Revista en Educación en Ingeniería*, pp. 51-61.
- Esteban, P. & Henao, M., 2006. *Los Mapas Conceptuales en la Enseñanza para la Comprensión y el Aprendizaje Significativo*. San José - Costa Rica, s.n.
- Herrera, O., Alves, G., Fuller, D. & Aldunate, R., 2006. Remote Lab Experiments: Opening Possibilities for Distance Learning in Engineering Fields. In: *International Federation for Information Processing*. Boston: Springer, pp. 321-325.
- Jaramillo, R., Escobedo, H. & Bermúdez, A., 2004. Enseñanza para la comprensión. *EDUCERE, TRASVASE*, p. 529-534.
- Khamis, R. A., 2006. *Interacción Remota con Robots Móviles Basada en Internet*, Madrid-España: Tesis Doctoral Universidad Carlos III de Madrid.
- L., S., J., R. & R., N., 2005. *Un laboratorio escolar de robótica remoto en ambiente colaborativo*. [Online]
Available at: http://colos.fcu.um.es/TICEC05/TICEC05/54_567.pdf
[Accessed Febrero 2010].
- Nuño, O. E. & Basañez, L., 2004. *Teleoperación: técnicas, aplicaciones, entorno sensorial y teleoperación inteligente*. [Online]
Available at: <http://bibliotecnica.upc.es/reports/ioc/IOC-DT-P-2004-05.pdf>
[Accessed Diciembre 2008].
- Renata, 2010. *Red Nacional Académica de Tecnología Avanzada*. [Online]
Available at: <http://www.renata.edu.co/index.php/edelectronica-telecomunicaciones-e-informatica/>
[Accessed Diciembre 2012].
- Rodriguez, F., Khamis, A., Barber, R. & Salichs, M., 2001. *A Remote Laboratory for Teaching Mobile Robotics*. Alemania, s.n.

- Rosado, L. & Herreros, J. R., 2006. *Nuevas aportaciones didácticas de los laboratorios virtuales y remotos en la enseñanza de la Física.* Sevilla-España, s.n.
- RV-2AJ, M., 2011. *Robots Mitsubishi.* [Online]
Available at: <http://www.mitsubishirobots.com/manuals.html>
[Accessed Agosto 2012].
- Stone, M., 1999. *La Enseñanza para la Comprensión, Vinculación entre la Investigación y la Práctica.* Buenos Aires - Argentina: Ediciones Paidós Iberica, S.A..

Sobre los autores

- **Jaime Alberto Buitrago:** Ingeniero Electrónico, Magister en Ingeniería énfasis Electrónica. Profesor Asistente. Programa de Ingeniería Electrónica, Universidad del Quindío. jalbertob@uniquindio.edu.co

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería y de la International Federation of Engineering Education Societies

Copyright © 2013 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI), International Federation of Engineering Education Societies (IFEES)