



DISEÑO DE UN LABORATORIO REMOTO DE ROBOTS Y PROCESOS DE MANUFACTURA INDUSTRIALES

RAFAEL CASTILLO ORTEGA*, MARÍA DEL RUBÍ SALAZAR AMADOR,
MILKA DEL CARMEN ACOSTA ENRÍQUEZ

El presente artículo aborda el diseño de un Laboratorio Remoto de Robots y Procesos de Manufactura Industriales. Primero se presenta el estado del arte y después se expone una propuesta que consiste en acceder por software al escritorio remoto de las PC que controlan dichos dispositivos y también acceder por hardware a un dispositivo diseñado para manipular el Teach pendant (consola de programación) de los robots industriales para su programación sin modificar tanto el software propietario como el hardware original de cada equipo. Se utilizó un servidor web tipo LAMP programado con software libre para la administración del uso de los equipos; la retroalimentación de los usuarios remotos se realizó mediante monitoreo con cámaras IP.

M.C. Rafael Castillo Ortega
Departamento de Ingeniería Industrial,
Universidad de Sonora
Correo: rcastillo@industrial.uson.mx

Dra. María del Rubí Salazar Amador
Universidad Popular Autónoma del
Estado de Puebla
Correo: rubi.salazar@upaep.mx

Dra. Milka del Carmen Acosta Enríquez
Departamento de Investigación en
Física, Universidad de Sonora
Correo: milka@cifus.uson.mx

*Autor para correspondencia: Rafael Castillo Ortega
Correo electrónico: rcastillo@industrial.uson.mx
Recibido: 10 de Septiembre de 2013
Aceptado: 14 de Noviembre de 2013
ISSN: 2007-4530

INTRODUCCIÓN

Existen diferentes tipos de laboratorios en la educación, Lorandi *et al.* los clasifican como Laboratorios convencionales (LC), Laboratorios virtuales, (LV), Laboratorios remotos (LR), muestran las ventajas y desventajas de los LR y LV (1), así como ejemplos de cada uno de ellos en el mundo y en nuestro país.

Recientemente en México se llevó a cabo la Reunión Nacional de la Corporación Universitaria para el Desarrollo del Internet (CUDI) en Ensenada, Baja California (2), en la cual se presentó una amplia variedad de laboratorios remotos y virtuales en México y en el mundo, en una comunidad de laboratorios compartidos basados en Internet 2. Entre las instituciones educativas nacionales que cuentan con dichos laboratorios destacan la UNAM, ITESM con varias sedes, CENIDET, CIAD, CIMAV, UASLP, Universidad Michoacana y Universidad de Sonora; entre las internacionales, está la Red Nacional Académica de Tecnología Avanzada (RENATA) de Colombia y la de la Universidad Nacional Agraria de Managua Nicaragua.

Un ejemplo de laboratorio remoto lo ofrecen Landino y Hurtado en su artículo "Laboratorio remoto para la enseñanza de la programación de un robot industrial" (3), en donde se describe la evolución del desarrollo y funcionamiento de un laboratorio remoto para la enseñanza de la automatización, por medio de una aplicación web, un software de acceso remoto que permite una conexión multiusuario independiente, y archivos que contienen códigos con comandos del símbolo del sistema. Con esto se logra administrar el laboratorio evitando conflictos de uso entre los usuarios. El objetivo es incrementar el tiempo de productividad y eliminar las restricciones de espacio y tiempo para la utilización de un robot manipulador de tipo industrial.

Por otra parte, se puede consultar el artículo de Caicedo *et al.* "Laboratorio distribuido con acceso remoto para la enseñanza de la robótica" (4) con los resultados de un proyecto de investigación aprobado y financiado por COLCIENCIAS, CINTEL, Universidad del Valle y Universidad del Quindío. Este laboratorio permite el desarrollo de sesiones prácticas interactivas a estudiantes de ambas universidades sobre plataformas móviles (Pioneer 3DX) y sobre brazos robóticos (Mitsubishi RV-2AJ). Las tareas normalmente desarrolladas involucran programación, supervisión y visualización, esta última usando video y/o una representación en 2D. Esta herramienta de enseñanza en robótica permite que estas dos costosas plataformas de experimentación puedan ser usadas colaborativamente por ambas universidades, mejorando la comunicación entre estudiantes, grupos de investigación y permitiendo el desarrollo de actividades educativas y/o investigativas multidisciplinares.

Adicionalmente, Macías *et al.* en la presentación "Laboratorios Remotos: Aprendizaje y entrenamiento a distancia", ITESM campus Monterrey CUDI (5) exponen los laboratorios remotos con los que cuentan, el eLab





control de robots y procesos de manufactura industriales de la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla (UPAEP) y el Centro de Servicios de Alta Tecnología de la UPAEP (CESAT)", con la colaboración de miembros de la Universidad de Sonora.

DESARROLLO EXPERIMENTAL

Para el desarrollo de este trabajo se utilizó tecnología de vanguardia que emula un Sistema de Manufactura Flexible, FMS (*Flexible Manufacturing System*) para diversos procesos. Un FMS consiste de un grupo de estaciones de procesamiento, predominantemente máquinas herramientas de Control Numérico por Computadora (CNC), las cuales son interconectadas por medio de un sistema de manejo de recuperación de material automático. Lo que da su nombre al FMS es su capacidad de procesar una variedad de diferentes tipos de partes simultáneamente bajo un programa de CNC en varias estaciones, es flexible porque es capaz de procesar varios productos y cantidades de producción que pueden ser ajustadas en respuesta a los comportamientos de la demanda, que a diferencia de la manufactura tradicional no puede realizar.

En el caso propio, el laboratorio utiliza tecnologías de fabricación por arranque de viruta (torneado y fresado), y el control de procesos totalmente automatizados. El laboratorio cuenta con estaciones modulares de diferentes tecnologías como son:

1. Estación de almacenamiento.
2. Estación de transporte
3. Estación de enlatado
4. Celda de manufactura (2 máquinas CNC) y un robot (tipo Gantri) para carga y descarga de material.
5. Estación de control y monitoreo.
6. Robot F3 sobre una mesa de trabajo.

En las figuras 1 y 2 se muestra parte del laboratorio de manufactura flexible, el robot F3 sobre mesa de trabajo y el robot tipo Gantri de seis ejes.



Figura 1. Robot F3 sobre mesa de trabajo.

y el TeleLab enlazando los campus Monterrey, Ciudad de México y Cuernavaca. También Saire y Gómez con "Plataforma de aprendizaje a distancia en automatización industrial empleando laboratorios remotos" (6) muestran la arquitectura necesaria para realizar un laboratorio remoto con dispositivos con redes *Asi (Actuador Sensor Interface)* utilizando internet.

Otro desarrollo importante fue presentado por Ariza y Amaya en su artículo "Laboratorio remoto aplicado a la educación a distancia" (7). Este trabajo muestra la arquitectura de un laboratorio remoto aplicado a la educación a distancia; a través de esta herramienta los estudiantes pueden realizar prácticas desde cualquier punto de conexión a internet.

Por su parte, Calvo *et al.* en su artículo "Laboratorios remotos y virtuales en enseñanzas técnicas y científicas" (8), exponen que en disciplinas técnicas y científicas, la realización de experimentos con plantas reales es fundamental para consolidar los conceptos adquiridos en las aulas teóricas. Este artículo muestra algunas de las opciones disponibles más utilizadas dentro del ámbito de la Ingeniería de Control con la intención de que estas prácticas puedan irse extendiendo a otras áreas del conocimiento.

Un trabajo basado en software libre, en específico Moodle, es el de García *et al.* y se intitula "Integración del laboratorio remoto WebLab-Deusto en Moodle" (9). Los autores presentan el laboratorio remoto de la Universidad de Deusto, WebLab-Deusto y proponen una integración de dicho sistema en Moodle para lograr una plataforma de *e-learning global*. El servicio que ofrece Moodle a la comunidad educativa actualmente es indudable y su éxito así lo demuestra. Los laboratorios remotos son la herramienta ideal para cubrir esta necesidad.

En este trabajo se propone el diseño de un laboratorio remoto que a diferencia de los anteriores no modifica el software y el hardware original de los equipos, sino que, mediante el acceso por escritorio remoto y hardware, se realiza el manejo del equipo. Esta propuesta es producto del proyecto de investigación "Laboratorio remoto para



Figura 2. El robot tipo Gantry de seis ejes.

PROPUESTA

Se utiliza un servidor LAMP, acrónimo usado para describir un sistema de infraestructura de internet que usa las siguientes herramientas:

- 1.- **Linux** como sistema operativo. En este trabajo se emplea la distribución de **UBUNTU**.
- 2.- **Apache** como servidor web.
- 3.- **MySQL** como gestor de bases de datos.
- 4.- **Perl**, **PHP** o **Python** son los lenguajes de programación.



Figura 3. Servidor Lamp.

La combinación de estas tecnologías es usada principalmente para definir la infraestructura de un servidor web (Figura 3).

Para administrar el acceso al laboratorio remoto se emplean los parámetros usuarios, contraseña y tiempo reservado de los equipos. También se habilitó por software el acceso a escritorio remoto y por hardware el acceso a un dispositivo diseñado para manipular remotamente una *Teach pendant* (consola de programación). Como retroalimentación del laboratorio se colocaron dos cámaras IP para ver en tiempo real los cambios que se realizan remotamente. Además se cuenta con micrófonos para monitorear alarmas sonoras en caso de ser activadas durante el uso del equipo.

ESCRITORIO REMOTO Y CÁMARAS IP

El software utilizado es *TeamViewer* que se eligió en función de los parámetros: plataforma de sistema operativo, software libre, seguridad, estabilidad, etcétera. Las cámaras IP seleccionadas tienen movimiento a control remoto sobre su eje vertical y horizontal, además de controlar el zoom (Figura 4).



Figura 4. Cámara IP utilizada en el sistema remoto, en total se utilizaron dos cámaras.

CARACTERÍSTICAS DE *TeamViewer*

TeamViewer es un programa para equipo de cómputo cuya función es conectarse remotamente a otro equipo. Entre sus funciones está compartir y controlar escritorios, reuniones en línea, videoconferencias y transferencia de archivos entre computadoras (Figura 5).



Figura 5. Software *TeamViewer*.

DISPOSITIVO DISEÑADO PARA MANIPULAR EL TEACH PENDANT

Para la tele-operación de un robot industrial, algunos autores de artículos relacionados, tienen acceso al programa fuente que controla el robot y pueden abrir e interactuar con los circuitos físicos del mismo, el controlador, etcétera.

Las condiciones de entrada del diseño propuesto en este artículo son las siguientes:

1. El software es propietario y no se accede al código fuente.
2. El hardware no se modifica internamente, se opera de forma externa.

Bajo estas condiciones se diseñó el control del robot para operarlo remotamente. Esto brinda una metodología para operar cualquier robot sin modificar tanto el software

como el hardware originales debido a que se opera a los robots con el software de fábrica y se añade el diseño de un dispositivo que controla el *teach pendant*.

Existen muchas clases y tipos de *teach pendant*, sin embargo las principales características son las siguientes (Figura 6):

1. Un *keypad* con un arreglo de interruptores *push button*. En el presente caso $5 \times 9 = 45$.
2. Un *live-man switch* o *dead-man* que es un interruptor que habilita el teclado.
3. El *emergency-stop* o botón de paro de emergencia.
4. El *screen* o pantalla, que puede ser alfanumérica o una pantalla de computadora.
5. Una bocina o *pendant sounds*, que emite sonidos de alerta.
6. Un interruptor rotativo de operación, con el cual no se cuenta en este caso particular.



Figura 6. *Teach pendant* para el Robot F3.



El modelo final tiene las siguientes características:

Se emplea tecnología electrónica de *National Instruments* en combinación con *Arduino* de entradas y salidas digitales para controlar los servomotores. De esta manera se posiciona el actuador exactamente en la ubicación del interruptor que se desea accionar. El robot cartesiano cuenta con movimientos en el espacio tridimensional *XYZ*, de manera que los movimientos en el plano *XY* permiten posicionar al robot en el botón correspondiente, y en la coordenada *Z* se mueve el actuador para presionar el interruptor deseado.

Por seguridad se cuenta con actuadores independientes para los botones de paro de emergencia y el interruptor *live-man*, con cinco actuadores para el panel de control del Robot F3, y con un actuador para paro de emergencia adicional. Asimismo, se realiza el monitoreo del display del *Teach pendant* mediante una cámara web con micrófono. Todo esto se controla a través de una PC por escritorio remoto.

Para el caso de los FMS que son banda transportadora, enlatadora y almacén vertical, únicamente se necesita tener acceso al escritorio remoto de cada uno para controlar sus procesos (Figura 7). Éstos a su vez dirigen los controladores lógicos programables (PLC) que están directamente involucrados en los mismos, de manera que no se modifica el software original. Los equipos CNC, torno y fresadora no fueron incluidos en el control remoto.

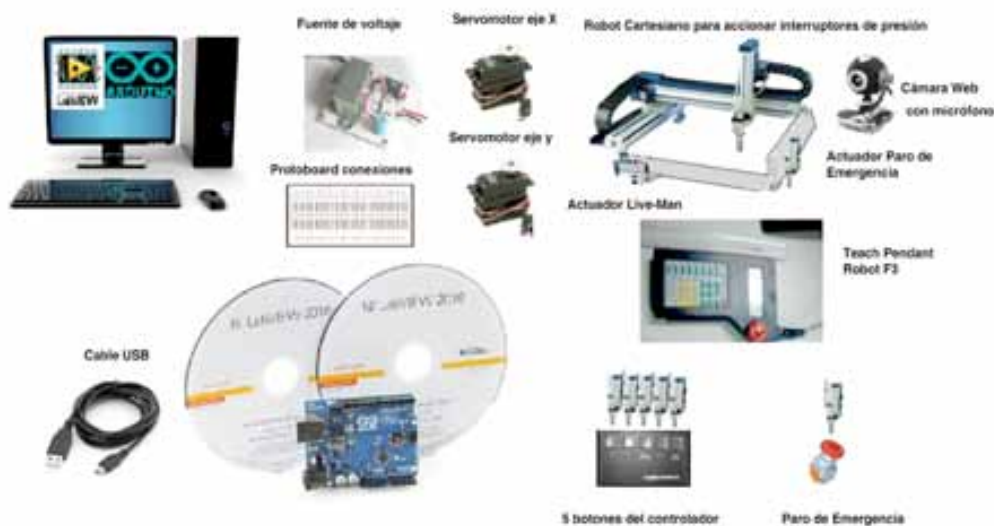


Figura 7. Prototipo para dispositivo de control.

DIAGRAMA DE FLUJO

En la figura 8 se presenta el diagrama de flujo; en el Inicio la posición actual será la posición de *Home* en la coordenada (0, 0) y la posición deseada se inicializa en (0, 0). Posteriormente, se introduce el dato de nueva posición por medio de la interfase gráfica y se le asignan los valores de acuerdo a la tabla 1 del botón a la posición deseada en *X* y en *Y*. Si la posición deseada y la posición actual son la misma, entonces se puede habilitar la activación del actuador para presionar el botón deseado, si no es así se deshabilita la activación para que no salga el actuador cuando el robot cartesiano se mueva hacia la nueva posición. Después se compara la posición deseada con la posición actual y de acuerdo a la tabla 2, el motor del eje de las *X* girará a la derecha o a la izquierda. De igual manera se compara la posición deseada en *Y* de acuerdo a la tabla 2 y el motor del eje *Y* gira para subir o bajar hasta la posición deseada. Después de este proceso la posición deseada se convierte en la posición actual y como son iguales, al regresar habilitará la activación del actuador. Dicha activación se realiza con el botón derecho del mouse. Es importante mencionar que existe una opción de salida del algoritmo presionando *Ctrl-Z*, porque el algoritmo consta de un ciclo infinito.

Para desarrollar el diagrama de flujo se asignaron valores en coordenadas rectangulares a cada interruptor, los cuales se pueden elegir mediante el mouse en la página web, como se presenta en la tabla 1. De manera que, si se desea presionar un interruptor, se debe





dar clic en el botón deseado. En la tabla 2 se presenta el número de giros necesarios en el plano XY de los motores del actuador, para alcanzar la posición deseada.

Los motores están acoplados cada uno a tornillos sinfín, los cuales mueven una rosca en donde está colocado mecánicamente el actuador en los dos ejes. Dependiendo del paso del tornillo sinfín y el número de hilos se tendrá una relación del número de giros respecto a la distancia que se moverá la tuerca. En nuestro caso, un paso 2 mm y un hilo requieren de 5 giros para un avance de un centímetro. Esto ocurre tanto para el eje X como para el eje Y de manera independiente, el sentido de giro se asigna de acuerdo a la tabla 2.

Tabla 1. Matriz del teclado.

(0,8)	(1,8)	(2,8)	(3,8)	(4,8)
(0,7)	(1,7)	(2,7)	(3,7)	(4,7)
(0,6)	(1,6)	(2,6)	(3,6)	(4,6)
(0,5)	(1,5)	(2,5)	(3,5)	(4,5)
(0,4)	(1,4)	(2,4)	(3,4)	(4,4)
(0,3)	(1,3)	(2,3)	(3,3)	(4,3)
(0,2)	(1,2)	(2,2)	(3,2)	(4,2)
(0,1)	(1,1)	(2,1)	(3,1)	(4,1)
(0,0)	(1,0)	(2,0)	(3,0)	(4,0)

Tabla 2. Matriz de giros por avanzar.

Giro a la derecha	Valor de AUXX	0	1	2	3	4
	Número de giros	0	5	10	15	20
Giro a la izquierda	Valor de AUXX	-4	-3	-2	-1	
	Número de giros	-20	-15	-10	-5	
Giro hacia arriba	Valor de AUXY	0	1	2	3	4
	Número de giros	0	5	10	15	20
	Valor de AUXY	5	6	7	8	
Giro hacia abajo	Número de giros	25	30	35	40	
	Valor de AUXY	-1	-2	-3	-4	
	Número de giros	-40	-35	-30	-25	
	Valor de AUXY	-5	-6	-7	-8	
	Número de giros	-25	-30	-35	-40	

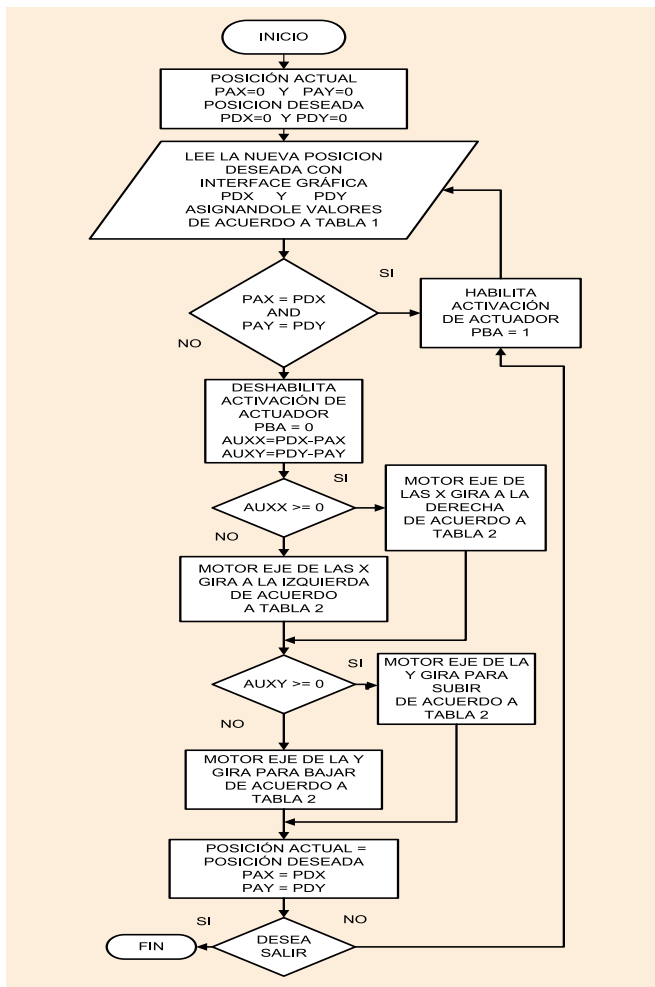


Figura 8. Diagrama de flujo.

PÁGINAS WEB DEL SERVIDOR LAMP

De las figuras 9 a la 16 se presentan las páginas del sitio que muestra la interfase al usuario durante la solicitud y reservación de tiempo para uso del equipo.



Figura 9. Página de inicio.



Figura 10. Página de reservación 1.



Figura 11. Página de reservación 2.



Figura 12. Página para elegir el laboratorio.

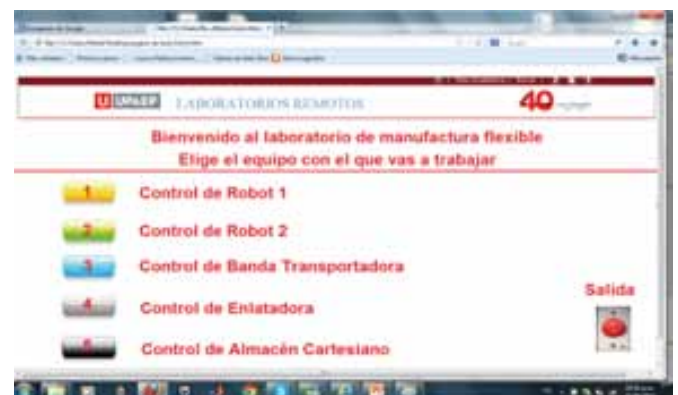


Figura 13. Página para elegir el equipo lab. 1.



Figura 14. Página para elegir el equipo lab. 2.



Figura 15. Página para control remoto Robot 1.



Figura 16. Página para control remoto Robot 2.

CONCLUSIONES

Se presenta una metodología que utiliza software libre mediante un servidor tipo LAMP para la administración del tiempo de uso de los equipos y acceso multiusuario simultáneo a los escritorios remotos, así como un dispositivo para manipular el *Teach pendant* del robot por hardware. Esta tecnología es adaptable a cualquier laboratorio de tipo industrial en otras instituciones educativas. En nuestro caso en particular el laboratorio se encuentra en las instalaciones de UPAEP.

La instalación de un laboratorio remoto beneficia a los alumnos de posgrado tanto de maestría como de doctorado que eligen la modalidad de estudiar a distancia vía videoconferencia en la UPAEP. De esta manera, los

estudiantes pueden realizar prácticas de laboratorio sin necesidad de ir a las instalaciones donde se encuentran los equipos. Además de adquirir habilidades y experiencia en el manejo de equipos reales los estudiantes pueden controlarlos de manera remota. Esto redundará en una mejor oportunidad de obtener un trabajo en donde se requieren las habilidades en el uso de dichos equipos en la industria.

De esta forma, las prácticas se realizan con equipos industriales reales y se tiene la oportunidad de operarlos como se encuentran en la industria. Esto es porque la programación y control se realizan de acuerdo con los manuales de operación del fabricante. Así, los estudiantes pueden manipular los interruptores y ver el display del *Teach pendant*, al mismo tiempo que se monitorea el robot en tiempo real y las alarmas.

Esta tecnología se puede aplicar a otras instituciones que cuenten con equipos industriales, como es el caso de la Universidad de Sonora que actualmente diseña un laboratorio remoto para controlar un robot industrial marca FANUC y 5 estaciones de trabajo MPS (Sistema de Producción Modular). La puesta en marcha de este laboratorio se tendrá para el año 2014 y con esto se beneficiará a alumnos de licenciatura del Departamento de Ingeniería Industrial, además de generar redes de colaboración académica entre la Universidad de Sonora y la UPAEP.

BIBLIOGRAFÍA

- 1) Lorandi, A.P., Hermida, G., Hernández, J. y Ladrón de Guevara, E. (2011). *Los laboratorios virtuales y laboratorios remotos en la enseñanza en Ingeniería*. Revista Internacional de Educación en Ingeniería, AcademiaJournals.com. Vol. 4, 24-30.
- 2) Santiago, P. (2012). *Comunidad de Laboratorios compartidos Laboratorios 2*. Instituto de Física UNAM. CUDI 23-25 Mayo 2012, Ensenada, Baja California,
- 3) Ariza, C.F. y Amaya, D. (2011). *Laboratorio remoto para la enseñanza de la programación de un robot industrial*. Ing. USB Med, Vol. 2, No. 1, 33-39.
- 4) Caicedo, E., Bacca, E.V., Calvache, B.A., Cardona, J.E. y Buitrago, J.A. (2009). *Laboratorio distribuido con acceso remoto para la enseñanza de la robótica*. Revista Educación en Ingeniería No. 7, 51-61.
- 5) Macías, M., Méndez, I. y Guridi, E. (2008). *Laboratorios Remotos: Aprendizaje y entrenamiento a distancia*. ITESM campus Monterrey CUDI.
- 6) Saire, A. y Gómez, H. (2008). *Plataforma de aprendizaje a distancia en automatización industrial empleando laboratorios remotos*. Invest. Apl. Innov. 2(2), 109-116.
- 7) Ariza, C.F. y Amaya, D. (2008). *Laboratorio remoto aplicado a la educación a distancia*. Ciencia e Ingeniería Neogranadina, Vol. 18-2, 131-145.
- 8) Calvo, I., Zulueta, E., Gangoiti, U. y López, J., *Laboratorios remotos y virtuales en enseñanzas técnicas y científicas*. Ikastorratza, Revista Electrónica de Didáctica. Tercer número. En: http://www.ehu.es/ikastorratza/3_alea/laboratorios.pdf.
- 9) García-Zubia, J., Orduña, P., Irurzun, J., Angulo, I. y Hernández, U., *Integración del laboratorio remoto WebLab-Deusto en Moodle*. Facultad de Ingeniería ESIDE, Universidad de Deusto, Tecnológico Fundación Deusto. En: <http://www.slideshare.net/etox/integracin-del-laboratorio-remoto-weblabdeusto-en-moodle-1800761>.