



del 26 al 30 de noviembre de 2012  
**16 CONVENCIÓN CIENTÍFICA  
DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA



## **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE OPERACIÓN A DISTANCIA DE SERVOMOTORES, VÍA INTERNET, PARA SISTEMAS ROBOTIZADOS**

**Bruno Dapuetto Huircamán<sup>1</sup>, Claudio Urrea Oñate<sup>2</sup>**

Grupo de Automática. Departamento de Ingeniería Eléctrica. Universidad de Santiago de Chile.  
Avda. Ecuador N° 3519. Estación Central. Santiago. Chile.

<sup>1</sup>[bruno.dapuetto@usach.cl](mailto:bruno.dapuetto@usach.cl), <sup>2</sup>[claudio.urrea@usach.cl](mailto:claudio.urrea@usach.cl)

### **RESUMEN**

Frente a la necesidad de desarrollar a distancia ciertos procesos industriales, mineros, etc., específicamente los que requieren la utilización de sistemas robotizados para actividades en entornos peligrosos, en este *paper* se da a conocer una eficiente alternativa de operación para un manipulador robotizado, que puede ser enmarcada dentro del campo de la telerobótica. Para esto, utilizando Internet como medio de comunicación entre el operario y el sistema robotizado remoto, se propone el uso del estándar de transmisión de datos para redes de área local llamada Ethernet. Gracias al empleo de una plataforma de electrónica adecuada se logra modificar, a distancia, las variables de entrada de los servomotores que constituyen los actuadores de los eslabones de un robot. Es por ello que en este trabajo se plantea el diseño e implementación de un sistema de operación a distancia de servomotores, los cuales permiten efectuar los diversos movimientos de los eslabones de un manipulador robotizado, para posteriormente llevar a cabo una tarea específica.

**PALABRAS CLAVES:** Telerobótica, Internet, Ethernet, servomotores, TCP.

### **DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A SERVO MOTOR'S REMOTE OPERATION SYSTEM, VIA INTERNET, FOR ROBOTIC SYSTEMS**

### **ABSTRACT**

Facing the need to develop remote operation for some industrial or mining processes, specifically those ones requiring the utilization of robotic systems in hazardous environments, we present in this paper an efficient operation option for a robotic manipulator, which can be considered within the domain of telerobotics. In this scope, and considering Internet as means of communication between the operator and the remote robotic system, we propose to employ the data transmission standard for local area networks, called Ethernet. Thanks to the use of an appropriate electronic platform, we can remotely modify the input variables for the servo motors, which are the actuators in the robot's links. Therefore we present in this work the design and implementation of a servo motor's remote operation system, which allow to perform the diverse links' movements of a robotic manipulator, in order to carry out a specific task.

**KEY WORDS:** Telerobotics, Internet, Ethernet, servo-motors, TCP.

### **1. INTRODUCCIÓN**

Con el paso de los años, las tecnologías en el ámbito de las comunicaciones han permitido que muchos sistemas, que antes se debían operar o supervisar en terreno, puedan desenvolverse operándolos a distancia. Trabajos que ponen en riesgo la integridad física de las personas pueden llevarse a cabo mediante este tipo de control utilizando robots.



La disminución en el precio de las tarjetas de desarrollo y microprocesadores, el importante aumento del número de computadoras portátiles e indudablemente el desarrollo que ha tenido Internet en los últimos años, han provocado un impacto muy positivo en la investigación y posterior aplicación del control de robots a distancia, cuyo término se denomina “telerobótica” [1].

Internet ha revolucionado la forma de comunicación de la sociedad hoy en día, es por esto que su crecimiento ha sido relevante, prácticamente es posible conectarse a Internet desde cualquier lugar del mundo. Todas estas ventajas que ofrece Internet no han pasado desapercibidas para diversos investigadores y desarrolladores de aplicaciones de operación a distancia, que han visto en Internet un medio perfecto para establecer comunicaciones desde y hacia cualquier parte del planeta, claramente con acceso a Internet, a un costo muy bajo en comparación con otros medios, como lo puede ser la utilización de un satélite [2].

Un manipulador robotizado puede ser visto como un conjunto de subsistemas que se encuentran integrados, éstos son: manipulador o brazo mecánico, que consiste en una estructura mecánica que efectúa el movimiento permitiendo al robot efectuar un trabajo; elementos motrices o actuadores, los que permiten generar las fuerzas o pares que mueven la estructura mecánica, éstos pueden ser hidráulicos, neumáticos y eléctricos, como es el caso de servomotores; controlador, encargado de efectuar las labores de servocontrol y supervisión de las articulaciones, ocupa generalmente realimentación en cuanto a posición y velocidad; efector terminal, que es el dispositivo a través del cual el manipulador interactúa con el espacio que lo rodea, tomando y manipulando objetos; sensores de información, necesarios para que el robot tenga conocimiento tanto de su estado como de su entorno, para así moverse con precisión y velocidad [3].

Este trabajo detalla la metodología, los requerimientos y los resultados en cuanto a la implementación de la operación a distancia de servomotores.

## 2. METODOLOGÍA

Se requiere controlar, mediante el uso de Internet como canal de comunicación entre el operario y el controlador, la posición angular de rotación del eje de un servomotor y la velocidad angular con que lo hace, como lo muestra la Fig. 1. De esta forma, el operario podrá, desde un computador ubicado en cualquier lugar del mundo con acceso a Internet, dar órdenes al controlador, por medio de una Interfaz Hombre Máquina (HMI), para que el servomotor rote en cualquier ángulo y velocidad que el operario lo requiera, además de poder enviar órdenes de secuencias de movimientos para realizar trabajos ya establecidos al ser el servomotor parte integral de un robot.

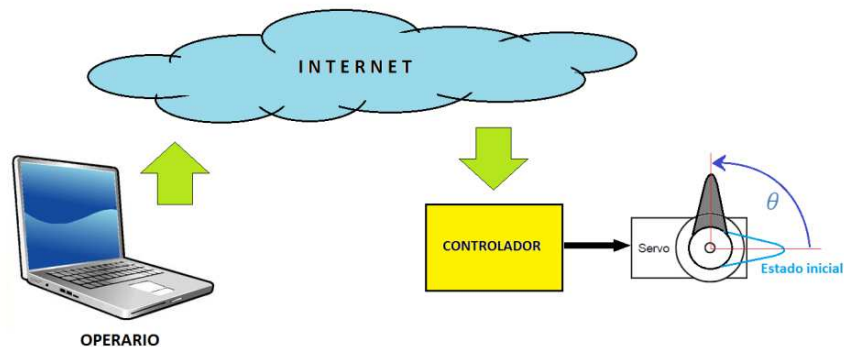


Figura 1. Interacción operario-controlador por medio de Internet.



del 26 al 30 de noviembre de 2012  
**16 CONVENCIÓN CIENTÍFICA  
DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA



Para lograr dicho objetivo, se utiliza la tarjeta de desarrollo Arduino, gracias a las ventajas que implica trabajar con una plataforma de electrónica libre (*open-source*). Este tipo de tarjetas de desarrollo toman información del entorno, por medio de sus pines de entrada de toda una gama de sensores, pudiendo ésta afectar aquello que le rodea, controlando luces, servomotores, etc. Además, considerando el gran número de librerías ya existentes para este tipo de tarjetas de desarrollo, algunos *softwares* como LabVIEW han ampliado y creado aplicaciones para interactuar con Arduino.

Otra ventaja significativa de las tarjetas Arduino es su carácter modular, ya que cuenta con una serie de *Shield* capaces de extender la versatilidad de estas tarjetas, como es el caso de la *Ethernet Shield*, que en conjunto con alguna tarjeta Arduino pueden llevar a cabo la operación a distancia usando Internet.

Se plantean dos formas de llevar a cabo esta operación a distancia usando Internet como medio de comunicación, la primera es usando LabVIEW, junto con una serie de herramientas que permiten la integración con la tarjeta Arduino para posteriormente establecer una comunicación cliente-servidor entre computadores; la segunda forma consiste únicamente en la utilización de la tarjeta Arduino, junto con el módulo *Ethernet Shield*.

### 3. REQUERIMIENTOS

Es necesario contar con los requerimientos de *hardware* y *software* adecuados para el correcto funcionamiento del control a distancia utilizado. Lo primero es contar con el *hardware* que permita la conexión de un computador a Internet y también contar con una tarjeta de desarrollo, en este caso la tarjeta Arduino Mega 2560, la cual permitirá enviar señales de mando al servomotor.

Una forma de operación es contar con el *software* LabVIEW versión 2011 o superior y descargar, si no está ya incorporado, el "*ToolKit Interface for Arduino*", este *kit* permite la integración entre LabVIEW y Arduino. Además de contar con un *software* como TeamViewer, que permite la comunicación entre computadores, vía Internet, de tal forma que sea posible controlar desde algún computador conectado a Internet, desde cualquier lugar del mundo, sin la necesidad de tener instalado LabVIEW, al computador que se encuentre conectado a la tarjeta Arduino y conectado a Internet con los TeamViewer y LabVIEW instalados.

Una segunda forma es la utilización del módulo Arduino Ethernet Shield, el cual permite a la tarjeta Arduino conectarse a Internet. Está basada en el *chip ethernet* W5100 de Wiznet, que provee un *stack* IP tanto para TCP como para UDP. El Arduino Ethernet Shield soporta hasta 4 conexiones a *sockets* en forma simultánea. Utiliza la librería Ethernet para escribir *sketches* con conexión a Internet utilizando este Shield [4]. Para ello, es necesaria la utilización de un *router* para conectar la tarjeta a Internet y operar el servomotor desde una página web usando a la tarjeta Arduino como servidor, así se pueden dar instrucciones a la tarjeta Arduino desde una página web y controlar una amplia variedad de dispositivos.

### 4. RESULTADOS

#### A. USANDO LABVIEW

Esta forma permite establecer una interfaz con la tarjeta de desarrollo Arduino usando LabVIEW. Luego, controlar la interface que ofrece éste por medio de Internet utilizando un *software* capaz de realizar una conexión entre computadores del tipo cliente-servidor. El *software* utilizado para este propósito es la versión gratuita de TeamViewer.

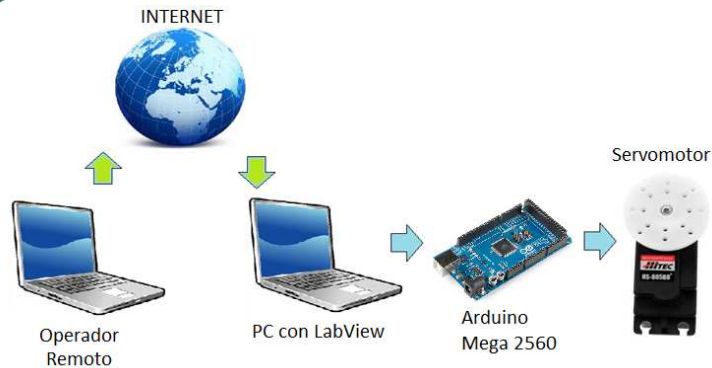


Figura 2: Control servo usando LabVIEW e Internet.

Una vez que la información está en LabVIEW, es posible analizarla usando los cientos de bibliotecas integradas de LabVIEW, desarrollar algoritmos para controlar el *hardware* Arduino. Utilizando LabVIEW versión 2011 o superior es posible realizar una interface mediante las herramientas proporcionadas por el “*ToolKit Interface for Arduino*”, descargable directamente desde la página web oficial de National Instruments [5].

Estas herramientas de interface para Arduino incorporan una serie de librerías y programas en lenguaje C que deben ser cargadas a la tarjeta Arduino usando *software* de programación Arduino como lo muestra la Fig. 3.



```

LVIFA_Base | Arduino 1.0
File Edit Sketch Tools Help
LVIFA_Base AFMotor.cpp AFMotor.h AccelStepper.cpp AccelStepper.h LabVIEWInterface.h LabVIEWInterface.h
/*****
** LVFA_Firmware - Provides Basic Arduino Sketch For Interfacing With LabVIEW.
**
** Written By: Sam Kristoff - National Instruments
** Written On: November 2010
** Last Updated: Dec 2011 - Kevin Fort - National Instruments
**
** This File May Be Modified And Re-Distributed Freely. Original File Content
** Written By Sam Kristoff And Available At www.ni.com/arduino.
**
*****/

/*****
**
** Includes.
**
*****/

// Standard includes. These should always be included.
#include <Wire.h>
#include <SPI.h>
#include <Servo.h>
#include "LabVIEWInterface.h"

```

Figura 3: Software Arduino y librerías para *ToolKit Interface for Arduino* para LabVIEW.



Un boceto para el microcontrolador Arduino actúa como un motor de E/S que se conecta con los VIs de LabVIEW, a través de una conexión serial. Esto ayuda a mover información rápidamente desde los pines de la tarjeta Arduino a LabVIEW sin ajustar la comunicación, la sincronización o incluso una sola línea de código C. Al usar *Open*, *Read/Write*, *Close* en LabVIEW, es posible tener acceso a las señales digitales, analógicas, moduladas por ancho de pulso, I2C y SPI del microcontrolador Arduino. Es importante destacar que la tarjeta Arduino debe estar conectada permanentemente a la PC con LabVIEW, a través de un enlace USB, serial, Bluetooth o XBee. Este juego de herramientas no hace posible una operación autónoma, esto es, que el Arduino no trabajará si no se encuentra conectado al PC.

La tarjeta Arduino Mega 2560 debe estar conectada al computador por medio del puerto USB en todo momento para realizar el control del servomotor. Una vez realizado el diagrama de bloques en LabVIEW, mostrado en la Fig. 4, es posible controlar la posición del servo a voluntad.

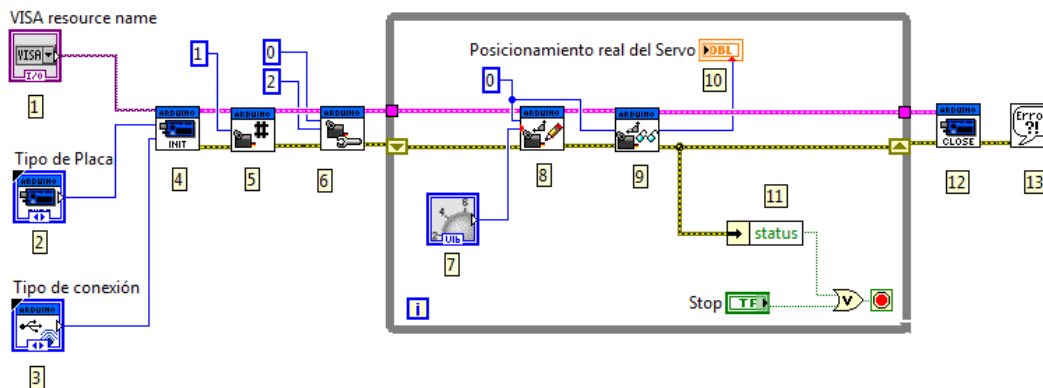


Figura 4: Diagrama de bloques en LabVIEW para el control de posición de un servomotor.

Hay que recordar que lo mencionado anteriormente sirve para crear una HMI, mostrada en la Fig. 5, con la cual interactuar y dar operación del ángulo de posición del servomotor. Para realizar el enlace entre computadores, usando Internet como unión entre ellos, se emplea un *software* que permita dicha comunicación. Existen programas tales como TeamViewer, el cual permite comunicar computadores entre sí por Internet permitiendo que sólo el computador autorizado, conectado a Internet desde cualquier parte del mundo, pueda operar al computador que se encuentra conectado a la tarjeta Arduino por medio del puerto USB.

Utilizando el panel de control para mover el eje del servomotor a voluntad, se obtienen las siguientes curvas, indicadas en la Figura 6, de posición y velocidad. Estas curvas son registradas mediante la utilización de la tarjeta de desarrollo como tarjeta adquisidora de datos, al incorporarle como entrada analógica el voltaje registrado en los terminales del potenciómetro interno del servomotor.

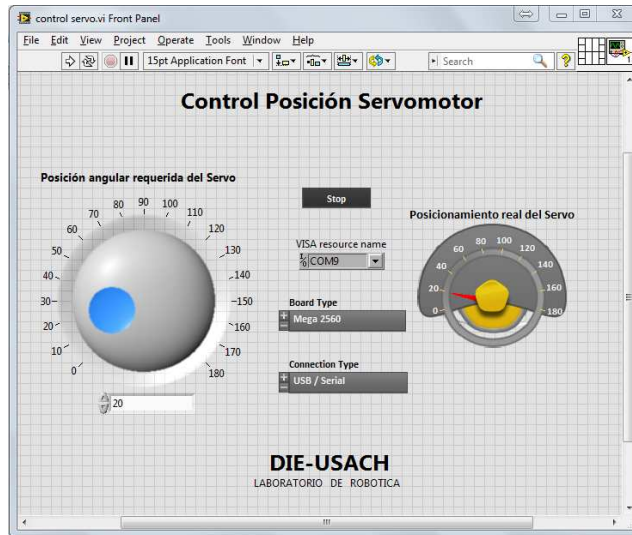


Figura 5: Panel de control.

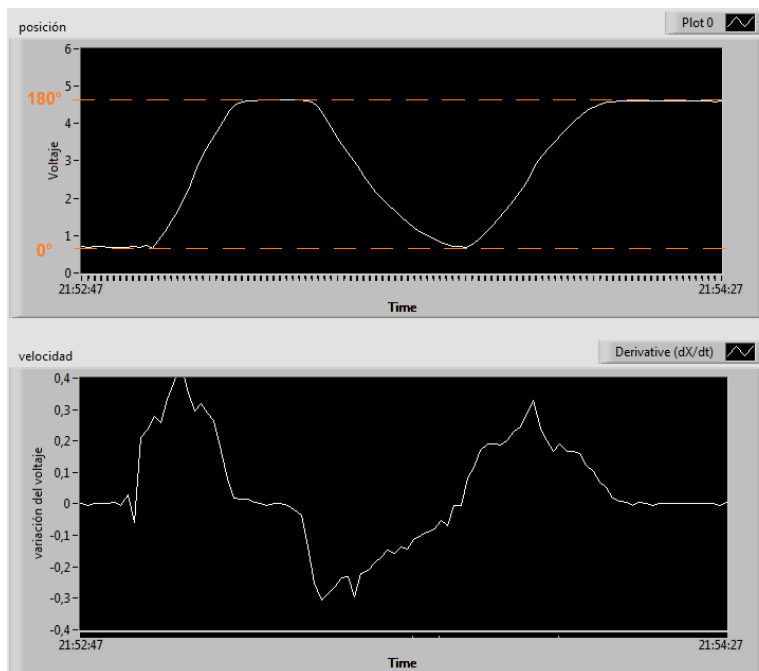


Figura 6: Curvas de posición y velocidad en el eje del servomotor.

## B. USANDO ARDUINO ETHERNET SHIELD

Este método consiste en usar la tarjeta de desarrollo Arduino como servidor web mediante la utilización de la tarjeta *Ethernet Shield*. Una vez conectada la *Ethernet Shield* al Arduino Mega 2560, también se debe conectar esta tarjeta *Ethernet Shield* a un *router*, por medio del cable de red. Este proceso se ilustra en la Fig. 7.

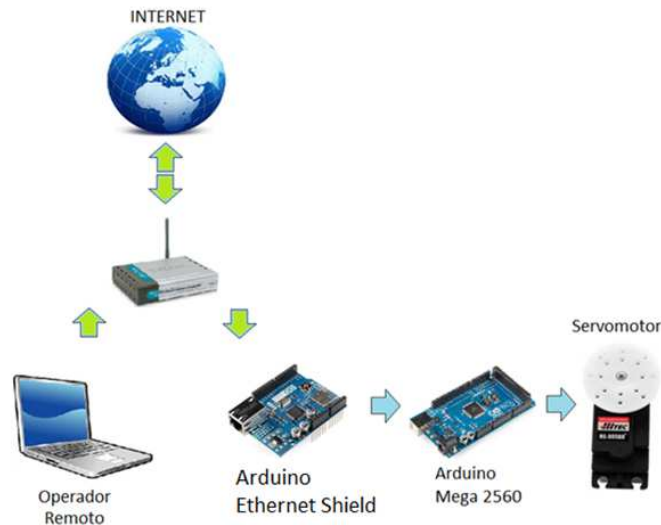


Figura 7: Control de servo usando Arduino Ethernet Shield.

La ventaja significativa que posee esta alternativa de control es que no requiere de la presencia permanente de un segundo computador, por lo que es una forma más económica de implementar.

Usando el *software* de programación de la tarjeta Arduino versión v0.023 o superior, es necesario incluir la librería <SPI.h>, la cual corresponde al protocolo de comunicación utilizado por el microcontrolador. Esto permite la comunicación con el Arduino. También se agrega la librería <Ethernet.h>, necesaria para establecer la comunicación vía red y la librería <VarSpeedServo.h>, que permite el control tanto de la posición y velocidad del servomotor.

En la misma programación debe indicarse la dirección “mac” de la tarjeta *Ethernet Shield*, que corresponde a un identificador global único para cada dispositivo en particular, la cual viene especificada en el reverso de la tarjeta. También se deberá asignar una dirección IP válida, la cual dependerá de la configuración de la red a la cual se conecta esta tarjeta.

Un control simple de implementar es la asignación numérica definida en la Tabla 1, en donde se escogió un código en el cual, después de digitada la dirección IP asignada a la tarjeta Arduino por medio de un navegador web, es posible posicionar el servomotor en el ángulo y velocidad asignada.

Tabla 1: Código de asignación de posiciones y velocidades.

código	Posición	Velocidad
1	0°	Baja velocidad
2	0°	Máxima velocidad
3	90°	Baja velocidad
4	90°	Máxima velocidad
5	180°	Baja velocidad
6	180°	Máxima velocidad

La Fig. 8 muestra el Navegador Web con el que se implementó un ejemplo de operación a distancia, Mozilla Firefox versión 13.0.1. En este ejemplo se muestra que se escribió la siguiente dirección:



169.254.177.170/\$1, con ello, se logró que el servomotor se moviera a la posición  $0^\circ$  en baja velocidad.

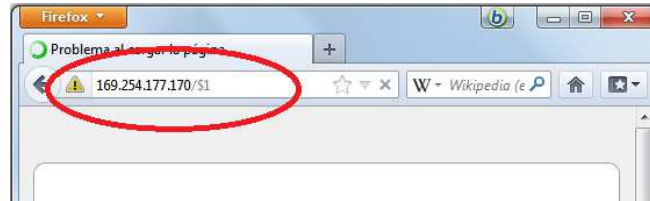


Figura 8: Código IP y asignación de posición y velocidad del servomotor.

A continuación, se muestran las curvas del comportamiento, tanto de la posición como de la velocidad en la misma escala de tiempo, del rotor del servomotor al utilizar el código de asignación de posiciones y velocidades de la Tabla 1. Estas curvas presentan amplitudes en Voltaje debido a que fue necesario intervenir el potenciómetro interno del servomotor, el cual registra la posición en que se encuentra el rotor en función de la tensión registrada en el potenciómetro para así brindar la realimentación al sistema de control interno del servomotor. La Figura 9 muestra el comportamiento del eje del servomotor al aplicarle el código “1” de la Tabla 1, partiendo de la posición  $180^\circ$  (máximo voltaje), hasta que alcanza la posición de  $0^\circ$  (mínimo voltaje).

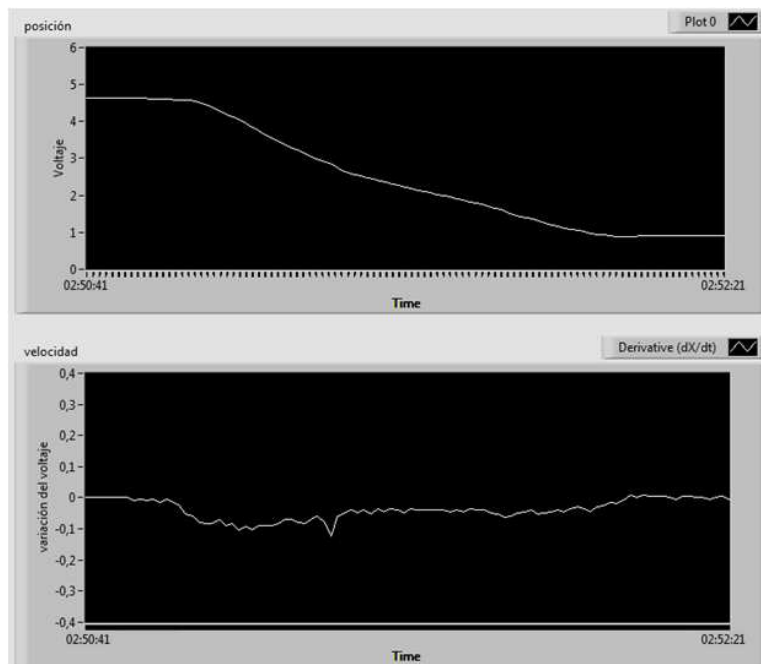


Figura 9: Curvas de posición y velocidad para código “1”.

Para la misma ventana de tiempo se utilizó el código “2” de la Tabla 1, introduciendo en el navegador la dirección 169.254.177.170/\$2, la que registró, partiendo nuevamente en  $180^\circ$  como posición inicial, el eje del servomotor se mueve hasta alcanzar los  $0^\circ$  a máxima velocidad. Esto se muestra en la Figura 10.



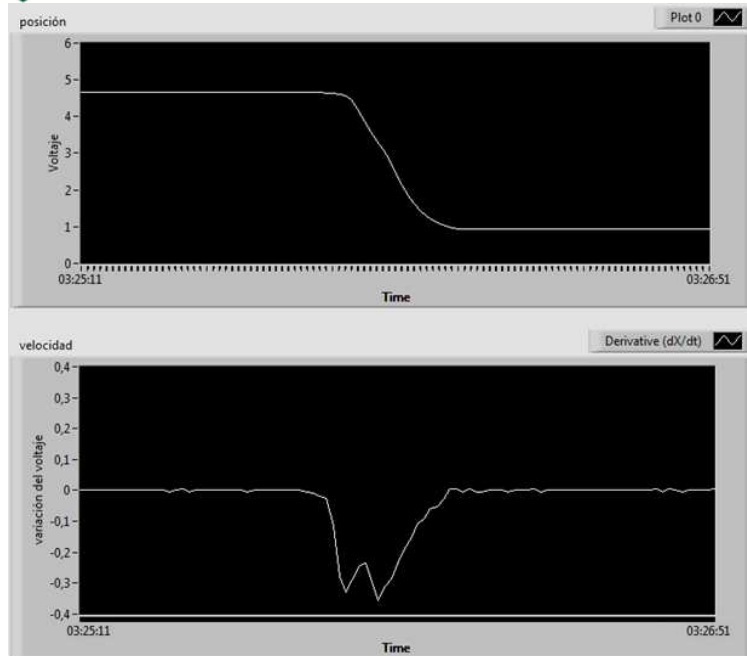


Figura 10: Curvas de posición y velocidad para código “2”.

## 5. CONCLUSIONES

Al estudiar e implementar formas de operación a distancia de servomotores, logrando exitosamente el control de éstos, como en el ejemplo real diseñado e implementado para este trabajo, se intenta mostrar que hoy en día es completamente posible realizar, de manera accesible y sencilla, la teleoperación gracias a diversas tecnologías existentes y, por sobretodo, considerando que la sociedad actual sigue demostrando el creciente aumento de conectividad a Internet. Es por ello que este trabajo demuestra claramente cómo, por medio de tecnología de fácil adquisición, es posible realizar aplicaciones aún insospechadas en el área de la telerobótica.

## RECONOCIMIENTOS

Los autores de este artículo agradecen el apoyo brindado por:

- El Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la Universidad de Santiago de Chile, por medio del Proyecto DICYT 060713UO.
- El Grupo de Automática, con su constante inspiración e impulso a la investigación científica.  
<http://www.die.usach.cl/>

## REFERENCIAS

1. DE LEÓN, Jesus M.; GUERRA, César T., "Plataforma Computacional para el Control de un Robot Vía Internet". Ciencia UANL, 2009, vol 22, núm 2, pp. 158-164.



del 26 al 30 de noviembre de 2012  
**16 CONVENCIÓN CIENTÍFICA  
DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA



2. BOGADO, Juan. "Control Bilateral de Robots Teleoperados por Convergencia de Estados". Directores: Rafael Aracil y Manuel Ferre, tesis de doctorado, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 2007.
3. RODRIGUEZ, Benjamín. "Estudio, Comparación e Implementación de Algoritmos de Control de Posición para un Manipulador Robotizado Educacional de 6 Grados de Libertad", Profesor Guía: Ph.D. Claudio Urrea, tesis de pregrado, Departamento de Ingeniería Eléctrica, Facultad de Ingeniería, Universidad de Santiago de Chile, Santiago, 2010.
4. ARDUINO. *Arduino Ethernet Shield* [en línea]. [ref. de 20 de mayo de 2012]. Disponible en Web: <http://arduino.cc/en/Guide/ArduinoEthernetShield>
5. NATIONAL INSTRUMENTS. *NI LabVIEW Interface for Arduino Toolkit* [en línea]. [ref. de 23 de mayo de 2012]. Disponible en Web: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/en/nid/209835>

### **SOBRE LOS AUTORES**

Bruno Dapuzo Huircamán, Licenciado en Ciencias de la Ingeniería. Estudiante de Ingeniería Civil en Electricidad, mención: Control de Procesos Industriales. Universidad de Santiago de Chile (USACH).

Claudio Urrea Oñate, Ph.D. en Ciencias de la Ingeniería, mención: Automática y Producción, INPG, Francia. Profesor/Investigador Jornada Completa del Departamento de Ingeniería Eléctrica de la USACH. Director del Programa de Modelación Industrial y Simulación Computacional de la Facultad de Ingeniería, USACH.