

LABORATORIO REMOTO DE CONTROL DE MOTORES DE CORRIENTE CONTINUA (LR-COMOCO)

Álvaro Gutiérrez ^{1*}, Blanca Larraga-García ¹, Ramón Martínez Rodríguez-Osorio ², Daniel Galera ¹ y Marcos Gómez ¹

1: Departamento de Tecnología Fotónica y Bioingeniería

E.T.S. Ingenieros de Telecomunicación

Universidad Politécnica de Madrid

e-mail: a.gutierrez@upm.es, blanca.larraga@upm.es, d.galera@alumnos.upm.es, marcos.gomez@alumnos.upm.es web: <http://robolabo.etsit.upm.es>

2: Departamento de Señales, Sistemas y Radiocomunicaciones

E.T.S. Ingenieros de Telecomunicación

Universidad Politécnica de Madrid

e-mail: ramon.martinez@upm.es web: <https://www.gr.ssr.upm.es>

Resumen. *En este proyecto se ha diseñado e implementado la infraestructura necesaria para la creación de un telelaboratorio en el ámbito de la ingeniería de sistemas y automática. El laboratorio permite a los alumnos acceder remotamente a unos motores de corriente continua que se encuentran ubicados en el Laboratorio de Robótica y Control de la E.T.S. Ingenieros de Telecomunicación de la Universidad Politécnica de Madrid. En la aplicación desarrollada, los alumnos realizan prácticas de control mediante la sintonización de los parámetros libres de los controladores. Una vez seleccionados los parámetros, éstos se envían a los motores ejecutando diferentes controladores. Posteriormente, el sistema devuelve al alumno los resultados para la valoración del diseño. El sistema se encuentra operativo y se pretende utilizar en la asignatura de Sistemas Electrónicos de Control del Grado en Ingeniería de Tecnologías y Servicios de Telecomunicación durante el curso académico 2019-2020.*

Palabras clave: Aprendizaje basado en Retos, Aprendizaje Ubicuo, Robótica, Simuladores, Laboratorios virtuales, Teleenseñanza.

1. Introducción

El Laboratorio de Robótica y Control (Robolabo¹) imparte la docencia relacionada con las asignaturas de control en la E.T.S. Ingenieros de Telecomunicación (ETSIT²). La asignatura de Sistemas Electrónicos de Control, en la que se fundamenta la propuesta del presente Proyecto de Innovación Educativa, dispone de una serie de puestos con motores de corriente continua para realizar las prácticas de la asignatura. Sin embargo, el número de puestos disponibles no es suficiente para el número de alumnos que cursan la asignatura y durante años ha sido necesario duplicar turnos de laboratorio para ofrecer una enseñanza de calidad.

Sin embargo, se ha detectado que una gran parte del trabajo práctico podría realizarse por el alumno fuera del aula, o del laboratorio en este caso, siempre y cuando disponga de las herramientas necesarias. Por un lado, se han creado unas plataformas de bajo coste que los alumnos pueden replicar para desarrollar controladores fuera del

¹ www.robolabo.etsit.upm.es

² www.etsit.upm.es

laboratorio y así completar las partes introductorias de la asignatura. A pesar de ello, gran parte de las prácticas requiere trabajar con materiales que no pueden ser asumidos a un coste razonable por los alumnos. Es posible que el enfoque propuesto sea similar a entornos de desarrollo en simulación, pero es convicción de los autores que realizar prácticas sobre un entorno real es mucho más gratificante, motivador y enriquecedor que un entorno simulado, aunque el primero sea en remoto.

En consecuencia, el proyecto LR-COMOCO propone ofrecer a los alumnos acceso remoto a tecnología de coste más elevado para la realización de los primeros pasos de las prácticas, como si estuviesen presencialmente en el laboratorio. De esta manera se consigue reducir el tiempo necesario de presencialidad en las primeras etapas de la realización de las prácticas, donde más tiempo se dedica a pruebas y errores. Posteriormente, una vez validados los controladores, los alumnos accederán físicamente al laboratorio para implementarlos de una manera presencial y observando el funcionamiento real de los equipos.

El resto del documento se divide en las siguientes secciones: La Sección 2 describe el hardware y los controladores del laboratorio remoto. En la Sección 3 se explican los principales aspectos del sistema software implementado para el desarrollo del proyecto así como la interfaz web desarrollada. Finalmente la Sección 4, concluye el documento.

2. Diseño hardware

Actualmente, el laboratorio de la asignatura Sistemas Electrónicos de Control dispone de 5 puestos (ver Figura 1). Uno de ellos se ha reutilizado para dedicar al telelaboratorio, donde los alumnos accederán remotamente.

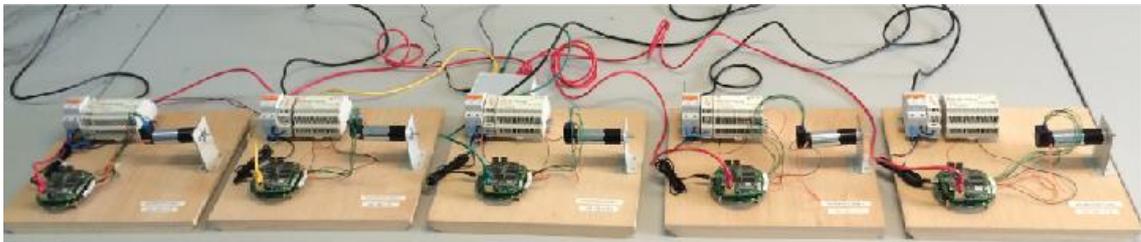
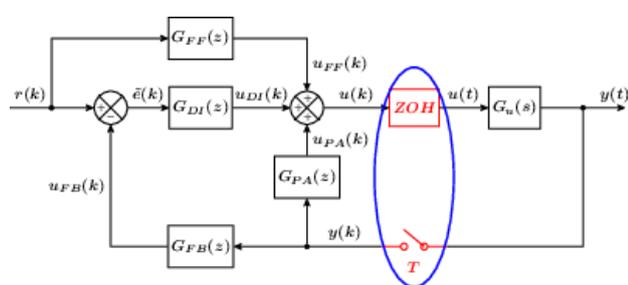


Figura 1: Puestos de la asignatura de Sistemas Electrónicos de Control.

El puesto remoto consta de la protección de alimentación, fuente de alimentación de 5V para la electrónica de control, fuente de alimentación de 12V para el motor DC, conjunto Motor, Encoder, Reductora y Hardware de control de motores (ver Figura 2a).



(a)



(b)

Figura 2: (a) Puesto para el laboratorio remoto y (b) sistema de control a implementar.

El hardware de control de motores consta de 3 tarjetas electrónicas: Una tarjeta con un microcontrolador ARM y capacidad de controlar cuatro motores (carrierMotor), una tarjeta con un procesador ATMEL con Linux (carrierBasic) y una tarjeta que se encarga de extraer la periferia (Ethernet, USB, ...).

La tarjeta carrierMotor es la que se encarga de ejecutar los controladores que se muestran en la Figura 2b. Son cuatro controladores PID simultáneos en el lazo directo, realimentado, prealimentado y paralelo. No todos los controladores tienen que estar activos al mismo tiempo, pero es posible que así sea en caso de que las especificaciones de diseño lo requieran.

La tarjeta carrierBasic es la encargada de la comunicación con el exterior. Implementa un sistema de colas al que se conectará el alumno desde el exterior, y una vez recibidos los datos del experimento, los envía a través de una UART a la carrierMotor para la ejecución del experimento y obtención de los datos en tiempo real. Finalizado el experimento, encapsulará los datos y los enviará al alumno.

3. Implementación software

Antes de comenzar con el proyecto ya existía un primer prototipo de diseño fundamentado en una aplicación basada en Qt sobre un sistema operativo Linux. En años previos se observaron dificultades a la hora de poner en marcha el sistema, debido al sistema operativo y el tener que instalar una aplicación nativa. Es por este motivo que una condición de diseño es que la aplicación software fuese independiente de la plataforma, y se optó por el diseño de una aplicación web.

Se ha optado por unificar el flujo de datos en una misma tecnología y framework. La Figura 3 muestra el diagrama de conexionado entre un usuario final (alumno) y la tarjeta de control (carrierBasic)

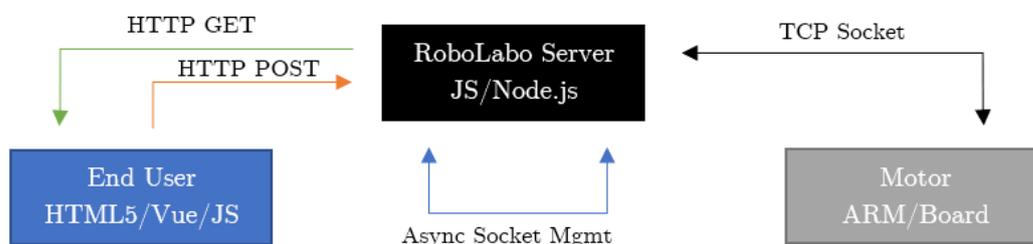


Figura 3: Arquitectura software de comunicación.

La imposibilidad técnica, por motivos de diseño o seguridad, de que un navegador abra conexiones TCP directas con otro endpoint, obliga a delegar las acciones de comunicación integral con los motores al servidor que sirve la aplicación. La gestión de estas peticiones y el envío de los parámetros y ajustes necesarios se realizan a través de peticiones POST identificadas con cookies. Éstas se realizan al servidor web y se trasladan en aperturas de sockets asíncronas para permitir la utilización de varios clientes al mismo tiempo, beneficiándose del sistema ya implementado de colas en la tarjeta carrierBasic. La gestión de los sockets abiertos nunca se expone y es íntegramente realizada por el servidor, incluyendo en ésta la desconexión automática tras un determinado timeout, previniendo un bloqueo de las peticiones.

En la recepción de los datos se emplean peticiones GET reactivas que alteran la interfaz de usuario en tiempo real, modificando el DOM para mostrar gráficos o datos. Estas modificaciones son desencadenadas por el servidor a la hora de recibir datos de los sockets abiertos. También se emplean peticiones GET al servidor para obtener la interfaz de la aplicación y los recursos para su funcionamiento.

Para el manejo de la aplicación se utiliza una interfaz que cuenta con cuatro partes principales que facilitan su manejo y mejoran su utilidad (ver Figura 4): Menú de pestañas (izquierda), introducción de parámetros (centro), resultados (incluyendo la imagen de la cámara web en tiempo real) y el control de acciones (barra superior).

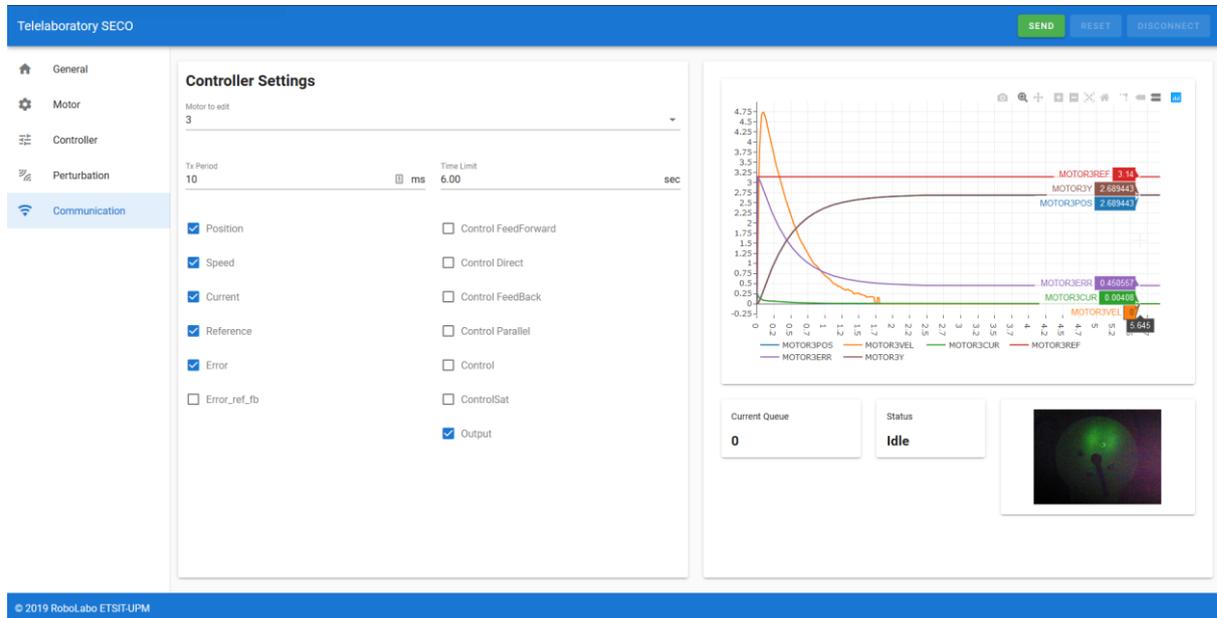


Figura 4: Interfaz web de acceso al laboratorio remoto.

La aplicación permite definir los siguientes parámetros:

- **Motor:** El motor a controlar (solo 1 motor activo por el momento) y el periodo de modulación de la señal PWM.
- **Controlador:** Periodo de muestreo del controlador, variable de control (velocidad o posición), señal de referencia (delta, escalón, rampa, parábola, seno, coseno y trapecio), así como sus valores.
- **Señal de perturbación:** Se permite introducir una señal de perturbación con la misma condiciones que la señal de referencia (delta, escalón, rampa, parábola, seno, cose y trapecio).
- **Comunicación:** La pestaña comunicación define el tiempo del experimento (en segundos), el periodo de muestreo de los datos a capturar (en milisegundos) y las variables que se quieren recibir (posición, velocidad, corriente, referencia, error, señales de control global y de cada uno de los controladores, señal de control saturada en función de las limitaciones del motor y la señal de salida).

4. Conclusiones

Se ha implementado una plataforma de acceso remoto para la realización de prácticas de laboratorio de la asignatura Sistemas Electrónicos de Control del Grado en Ingeniería de Tecnologías y Servicios de Telecomunicación. Sin embargo, el desarrollo realizado a través de un sistema en 3 etapas, aplicación web, sistema de colas y controladores, puede ser utilizado en otros laboratorios remotos en un futuro.

La implementación final se probará en la asignatura durante el curso académico 2019-2020, para la posterior evaluación de posibles futuras mejoras y extensiones.