

# IE-0431 Sistemas de Control

## Proyecto 01: Diseño y Análisis de un Sistema de Control Realimentado

### III ciclo de 2023

Prof. Helber Meneses  
Departamento de Automática  
Escuela de Ingeniería Eléctrica  
Universidad de Costa Rica

#### I. INTRODUCCIÓN

Como parte de la evaluación del curso IE-0431 Sistemas de Control, se plantea el siguiente proyecto en donde se ven involucradas las diferentes etapas de diseño para un sistema de control. El proyecto tiene una temática de “*ejercicio profesional*”, en donde se le da libertad de proponer las estrategias que considere más convenientes, integrando los conocimientos adquiridos durante el curso, para realizar un caso real de diseño. Adicionalmente, se busca potenciar su habilidad de trabajo en equipo, redacción concisa de un informe escrito, así como la presentación oral de los resultados.

Para el desarrollo del proyecto deberá realizar las siguientes actividades:

1. (2 %) Hacer un cuadro resumen donde se indiquen las variables de interés del sistema.
2. (3 %) Indicar el ámbito de control donde se puede controlar la posición angular de la viga, y los valores extremos que debe tomar la señal de control que recibe el servomotor para alcanzar los valores límite que definen ámbito de control. Revise la curva estática realizada en una tarea.
3. (3 %) Identificar un modelo de orden reducido que caracterice la dinámica del cambio en la posición angular de la viga ante un cambio en la posición angular del eje del motor.
4. (20 %) Implementar en Arduino Uno la ecuación en diferencias asociada al algoritmo incremental de un PID estándar. Utilice una frecuencia de ejecución del algoritmo de control de 1 kHz. Todo el algoritmo de control se debe programar usando la librería **TaskScheduler**.
5. (10 %) Diseñar los parámetros del algoritmo de control para un PI y para un PID de un grado de

libertad utilizando reglas de sintonización, síntesis analítica o el lugar geométrico de las raíces, de tal forma que se cumplan las siguientes especificaciones de diseño: tiempo de asentamiento al 2 % menor a 1 s, error permanente nulo en servocontrol ante entradas tipo escalón y sobrepaso máximo nulo. Se pueden utilizar métodos expuestos en diversas fuentes bibliográficas (libros, revistas *IEEE*, publicaciones *IFAC*, el Handbook de reglas de sintonización PID [1], etc.).

6. Utilizar una herramienta de diseño de sistemas de control asistido por computadora (CACSD)<sup>1</sup>, para realizar la simulación del comportamiento del sistema de control al utilizar los diversos algoritmos diseñados para controlar el proceso identificado.
7. (12 %) Medir las siguientes especificaciones del diseño mediante el lazo de control simulado: tiempo de asentamiento al 2 %, error permanente en servocontrol ante entradas tipo escalón, sobrepaso máximo y esfuerzo de control  $TV_{ur}$ . Para que la simulación sea lo más parecida a la realidad, simule el controlador de valor deseado y de realimentación en tiempo discreto, es decir, simule  $C_r(z)$  y  $C_y(z)$ ; por otro lado, la planta puede simularla en tiempo continuo, es decir, haciendo uso de  $P(s)$ .
8. (12 %) Validar los dos controladores sintonizados al controlar el proceso real, y medir el desempeño del mismo utilizando los siguientes índices: esfuerzo de control  $TV_{ur}$ , sobrepaso máximo, tiempo de asentamiento al 2 % y error permanente en servocontrol. Para esto programe cambios de tipo escalón en el valor deseado de la posición de la

<sup>1</sup>MATLAB® por ejemplo.

viga, de  $10^\circ$  ó  $15^\circ$ , que se generen cada 3 s. Si lo desea como extra, puede agregar un potenciómetro para setear el valor deseado de la posición angular de la viga. Recuerde revisar si ocupa implementar un filtro digital a la señal binaria generada por el convertidor analógico-digital que lee la señal del acelerómetro para lograr un mejor control del sistema. Para esta prueba del funcionamiento real del sistema, **debe grabar un video** donde se muestre el funcionaento del sistema y donde se escuche la explicación de su modo de operación.

9. (4 %) Comparar los resultados de las especificaciones obtenidas con la simulación y con el sistema real. Agregar una tabla o cuadro resumen con los resultados.
10. (4 %) Establecer, a partir de los resultados obtenidos, las conclusiones del proyecto respecto a cuál es el mejor controlador diseñado, proporcionando las razones que justifican la elección del controlador, e indicando además las posibles mejoras a realizar en el diseño propuesto.

## II. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

Se debe controlar la posición angular de una viga medida con un acelerómetro haciendo uso del cambio en la posición angular del eje de un servomotor.

## III. EQUIPOS DE TRABAJO, INFORME Y PRESENTACIÓN

Para ejecutar el proyecto de control, debe formar equipos de trabajo con un máximo de tres integrantes, mínimo de dos y en ningún caso puede ser individual. La formación de los equipos debe hacerse directamente mediante la inscripción en sitio web del curso.

Se debe presentar un informe del proyecto en donde se describan las actividades realizadas para el diseño del sistema de control. Se elaborará utilizando alguna de las plantillas de la IEEE para artículos de conferencia que se encuentra en overleaf: <https://www.overleaf.com/latex/templates/ieee-conference-template/grfzhnncsfqn>.

El documento tendrá una extensión máxima de cinco páginas a doble columna. Debe respetarse en todo momento el formato del documento. **No se recibirán trabajos que no respeten estos límites.**

También habrá una pequeña presentación oral del proyecto con una demostración de su funcionamiento. Si lo desea puede utilizar PowerPoint o Beamer para hacer la presentación, o usar el mismo pdf del informe del proyecto (recuerde poner imágenes bonitas del funcionamiento, así como tablas de buena calidad). Cada

integrante del equipo, debe exponer una misma cantidad de tiempo o número de diapositivas, aproximadamente. El tiempo máximo de la presentación será de 7 minutos y un tiempo mínimo de 4 minutos. Para la demostración del funcionamiento se dispone de 2 minutos. Al final de cada sesión habrá una serie de preguntas por parte del estudiantado y/o el docente. El contenido de las dispositivas es responsabilidad de cada equipo. La idea es exponer exclusivamente el contenido más relevante del proyecto, las decisiones de diseño y los resultados y conclusiones obtenidas.

Se solicita realizar la presentación presencial, y con vestimenta semiformal.

El informe del proyecto (*en formato pdf exclusivamente*) así como los **archivos en Matlab que respaldan sus resultados**, los archivos de Arduino y el archivo pdf con la presentación (si realizó una en un archvo separado del informe), deberán ser entregados exclusivamente de forma digital por un(a) integrante de cada equipo, a través del sitio del curso en Mediación Virtual (en la sección de *Proyecto*) antes de la hora límite para su entrega.

El sistema **no** permitirá la entrega extemporánea de los archivos y **no** se recibirán informes a través de correo electrónico, ni de ningún otro medio. **No se permitirá la realización de cambios a los archivos una vez finalizado el plazo de entrega (esto incluye los videos).** Los archivos de Matlab deben estar ordenados, claros y desplegar los mismos resultados y gráficas presentadas en el informe.

## IV. EVALUACIÓN

En el proyecto se evaluará la originalidad y la creatividad de las ideas propuestas por cada equipo para diseñar el sistema de control, así como la profundidad de las mismas, expuestas tanto en el informe como en la presentación.

La calificación del proyecto está constituida por:

- Un 70 % el contenido del trabajo (general para el equipo), correspondiente a un 30 % para la metodología seguida de la identificación de los modelos y un 40 % en el diseño, la sintonización y comparativa de los controladores.
- Un 20 % para la nota del informe escrito final (general para el equipo), que se dividirá en partes iguales para el formato, redacción y calidad de las figuras.
- Un 10 % para la nota de la presentación oral (individual para cada integrante), que se desglosará en los siguientes rubros: dominio del tema (4 %),

exposición de ideas claras (4 %) y un buen manejo del tiempo (2 %).

**Aquellos y aquellas estudiantes que no presenten el informe escrito o que no realicen la exposición presencial, tendrán automáticamente una calificación de cero.**

Las fechas relevantes para la elaboración del proyecto son las siguientes:

- El lunes 5 de febrero se publica el enunciado del proyecto en el sitio virtual del curso.
- Fecha límite de entrega de los archivos del informe escrito, del código Arduino (archivo .ino), del video de funcionamiento del sistema, de archivos de Matlab y de la presentación (si hizo alguna): martes 13 de febrero a las 11:55 h.
- Fechas de presentación del proyecto: martes 13 de febrero en horario de clases.

---

#### REFERENCIAS

- [1] A. O'Dwyer, *Handbook of PI and PID controller tuning rules*. Imperial College Press, 2006.