

IE-0431 Sistemas de Control

Proyecto final: Diseño y Análisis de un Sistema de Control Realimentado

I ciclo de 2021

Prof. Leonardo Marín
Prof. Mercedes Chacón
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 le plantea el siguiente proyecto en donde se ven involucradas las diferentes etapas de diseño de 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 de presentación oral de los resultados.

Para el desarrollo del proyecto deberá realizar las siguientes actividades:

1. Explicar detalladamente el funcionamiento del proceso, así como todas las variables de interés y el tipo de comportamiento requerido del lazo de control.
2. Realizar la identificación de al menos tres modelos dinámicos del sistema de orden reducido, de forma experimental a partir del proceso “*real*” suministrado.
3. Analizar la variación de las características dinámicas del proceso en el ámbito de operación esperado.
4. Establecer las especificaciones requeridas de diseño: desempeño, esfuerzo de control y robustez, que se consideren adecuadas para el problema propuesto.
5. Seleccionar al menos tres algoritmos de control a utilizar junto con su respectiva estructura y acción.
6. Realizar el ajuste de los parámetros del contro-

lador utilizando las estrategias y métodos que se consideren adecuados para el problema propuesto. Se pueden utilizar métodos expuestos en diversas fuentes bibliográficas (libros, revistas *IEEE*, publicaciones *IFAC*, el Handbook de reglas de sintonización PID [1], etc.).

7. Utilizar una herramienta de diseño de sistemas de control asistido por computadora (CACSD)¹, para realizar la simulación del comportamiento del sistema de control al utilizar los diversos algoritmos diseñados para controlar el proceso “*real*” suministrado.
8. Medir las distintas especificaciones de diseño (rendimiento, esfuerzo de control y robustez; ya sea que se hayan utilizado o no para diseñar el controlador) a partir de los resultados de las simulaciones computacionales realizadas.
9. Comparar los resultados (especificaciones de diseño) de la implementación de los algoritmos diseñados con los diversos métodos de sintonización investigados, para controlar el proceso “*real*” suministrado.
10. Establecer, a partir de los resultados obtenidos, las conclusiones del proyecto de diseño 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.

¹MATLAB® por ejemplo.

II. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

Los procesos “reales” que son la información base para el desarrollo del proyecto se suministran a continuación. Estos corresponden a un modelo que relaciona el cambio en la presión de la sangre ante el cambio en la razón de infusión de un medicamento (1), un modelo que relaciona el cambio en la concentración de glucosa en la sangre ante el cambio en la razón de infusión de insulina (2), un modelo del nivel de una caldera en una columna de destilación calefactada (3) y un modelo de un reactor químico continuamente agitado (CSTR) (4); el segundo con unidades de minutos, y los demás, con unidades de tiempo en segundos, y descritos respectivamente en [2], [3], [4] y [5].

$$P_1(s) = \frac{-e^{-30s}(1 + 0,4e^{-45s})}{40s + 1} \quad (1)$$

$$P_2(s) = \frac{3,79e^{-2s}}{s(40s + 1)} \quad (2)$$

$$P_3(s) = \frac{0,6(-0,5s + 1)e^{-0,2s}}{s(2s + 1)} \quad (3)$$

$$P_4(s) = \frac{0,75(1 - 0,85s)}{(0,5s + 1)^2} \quad (4)$$

Para la utilización del proceso “real”, éste deberá ser implementado en el programa de simulación, y deberá considerarse como un modelo caja negra, es decir, para las consideraciones a realizar en el proyecto de diseño, únicamente se puede utilizar la información de la entrada y la salida del proceso, con la cual deberá realizarse la identificación del mejor modelo posible, para ser utilizado en el diseño del sistema de control realimentado. Además, una vez diseñados los controladores, éstos se probarán y evaluarán utilizando el proceso “real”. **No se considerarán soluciones que usen la planta real para sintonizar el controlador.**

III. ALCANCE DEL PROYECTO

Para realizar las labores de control debe utilizar un esquema realimentado como el que se muestra en la Fig. 1, en donde $P(s)$ es el proceso controlado y $C(s)$ es el controlador. En ese sistema, $r(s)$, $u(s)$, $y(s)$ y $d(s)$, son el valor deseado, la señal de control, la variable realimentada y la perturbación, respectivamente. **Todas estas señales deben estar normalizadas en el rango de 0 a 100 %.**

El trabajo consiste entonces en diseñar un controlador $C(s)$ adecuado para el proceso $P(s)$, para lo cual debe analizar cuidadosamente la dinámica y características

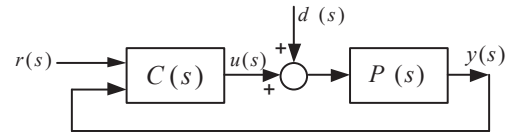


Figura 1. Diagrama de bloques sistema de control

del proceso controlado. *Todas las consideraciones o suposiciones hechas deberán estar claramente justificadas.* Adicionalmente, se deberá probar la validez y/o beneficios de la propuesta realizada.

IV. 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 asignará únicamente una planta real a cada equipo, *el cual será escogido por el profesor(a)*, la misma corresponderá a un proceso ampliamente utilizado en industria por lo que tiene diversidad en los diseños y técnicas a realizar.

Se debe presentar un informe del proyecto en donde se describan las actividades realizadas para el diseño del sistema de control. Se elaborará utilizando la plantilla de la IEEE para artículos de conferencia. La clase para elaborar los informes en \LaTeX , la plantilla para utilizar MS Word y los documentos de muestra, se pueden descargar del sitio web de la IEEE².

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

También debe incluirse una presentación de 20 diapositivas del informe. Una plantilla para la presentación en formato MS PowerPoint³, se encuentra disponible en la página web del curso. También se puede utilizar Beamer para hacer la presentación respetando el número de 20 diapositivas. Cada integrante del equipo, debe exponer en un video el contenido de por lo menos seis diapositivas. El contenido de las diapositivas es responsabilidad de cada equipo.

Cada estudiante debe grabarse realizando la presentación oral de su parte de la presentación.

²http://www.ieee.org/conferences_events/conferences/publishing/templates.html

³IE-0431.presentationPK.ppt

La duración del video de cada estudiante es de dos minutos mínimo y tres minutos máximo.

La duración de todos los videos del equipo debe sumarse y no exceder los siete minutos. Esto con el fin de que los(as) estudiantes sean eficientes y concisos en la presentación, exponiendo exclusivamente el contenido más relevante del proyecto, las decisiones de diseño y los resultados y conclusiones obtenidas.

Se requiere dividir y nombrar los contenidos de los videos (video uno, dos o tres) según el número de integrante de manera que puedan verse secuencialmente con el mismo orden de las diapositivas, por ejemplo, no se puede brincar en un video de la introducción a las conclusiones.

Se solicita presentarse en el video con vestimenta semiformal. Se recomienda que el participante grabe el video usando una plataforma similar a Zoom, donde se muestre la presentación y la persona exponiendo al mismo tiempo.

Cada estudiante debe subir de manera individual su video en la sección de *Proyecto*, antes de la hora límite para su entrega.

El informe del proyecto (*en formato pdf exclusivamente*) así como los **archivos en Matlab que respaldan sus resultados** y el archivo pdf con la presentación, deberán ser entregados exclusivamente de forma digital por un(a) integrante de cada equipo, a través del sitio web del curso (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.

V. 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 20 % para la metodología seguida de la identificación de los modelos y un 50 % en el diseño, la sintonización y comparativa de los controladores PID.

- Un 20 % para la nota del informe escrito (general para el equipo), que se dividirá en partes iguales para el formato, redacción, calidad de las figuras y normalización de señales.
- 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 %).

En la sección de entrega del proyecto encontrará más detalles de las Rúbricas de evaluación del informe escrito y de la presentación, que se utilizará para calificar el proyecto, puede revisarla desde ahora.

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

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

- Del 28 de mayo al 11 de junio: Inscripción de los equipos en mediación virtual, con un cupo máximo de 3 integrantes.
- El lunes 7 de junio se publica el enunciado del proyecto en el sitio virtual del curso.
- Fecha límite de entrega de los archivos del informe escrito y la presentación, incluyendo el video: domingo 18 de julio del 2021 a las 23:55h.

REFERENCIAS

- [1] A. O'Dwyer, *Handbook of PI and PID controller tuning rules*. Imperial College Press, 2006.
- [2] J. Hahn, T. Edison, and T. F. Edgar, "Adaptive IMC control for drug infusion for biological systems," *Control Engineering Practice*, vol. 10, no. 1, pp. 45–56, 2002, modelling and Control in Biomedical Systems. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0967066101001083>
- [3] R. Ziff, "Chemical process dynamics and controls," *University of Michigan*, p. 572 sección 9, 2006. [Online]. Available: <https://open.umich.edu/opentextbooks/textbooks/614>
- [4] D. Chen and D. E. Seborg, "PI/PID controller design based on direct synthesis and disturbance rejection," *Industrial & Engineering Chemistry Research*, vol. 41, no. 19, pp. 4807–4822, 2002. [Online]. Available: https://sites.chemengr.ucsb.edu/~ceweb/faculty/seborg/pdfs/DC_IEC_pub.pdf
- [5] V. Alfaro, *Sistemas de control proporcional, integral y derivativo: Algoritmos, análisis y ajuste*, apéndice a.2.1 ed., Dec. 2016. [Online]. Available: <https://pidplanet.wordpress.com/sisconpid/>