

Component for stability analysis in laboratory practice Distances

MSc. Omar, Mar Cornelio¹, and DrC. Jorge Gulin González.¹

¹Universidad de las Ciencias Informáticas, Cuba, omarmar@uci.cu, gulinj@uci.cu

Abstract— *Distance Laboratory Systems represent a viable alternative for the development of automatic remote control laboratory practices. However, the fragile and expensive coupled devices do not have mechanisms to validate the control strategies designed by the students. The present investigation describes a solution to the problematic one raised from the elaboration of a component for the analysis of stability in the practices at distances for which it uses the geometric position of the roots. Expert assessment is applied to determine the contribution index of the component, where a high index is obtained by the experts.*

Keywords— *Component, stability analysis, automatic control practices.*

I. INTRODUCCIÓN

Los Sistemas de Laboratorios a Distancias han ganado importancia en los últimos años producto a la ventaja que representa el aprendizaje electrónico[1], sin embargo los sistemas de laboratorios suponen como deficiencia que no existe un profesor supervisando las estrategias de control que son desarrollada por los estudiantes lo que puede generar un mal funcionamiento en las estaciones de trabajo [2].

El objetivo de la presente investigación es desarrollar un componente para el análisis de estabilidad que permita determinar el acceso a la ejecución de las prácticas de laboratorios.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Flujo de trabajo para el análisis de estabilidad

Después que un estudiante obtiene el control de acceso a las prácticas de laboratorios solicitadas, este no está exenta de cometer errores. En este sentido el análisis de estabilidad permite identificar el mal funcionamiento en las estaciones disponibles para el Sistema de Laboratorios a Distancia [3].

Un sistema es estable si responde con una variación finita a variaciones finitas de sus señales de entrada [4]. Si se considera un sistema lineal e invariante en el tiempo, la inestabilidad del sistema supondrá una respuesta que aumenta o disminuye de forma exponencial, o una oscilación cuya amplitud aumenta exponencialmente [5].

La actividad análisis de estabilidad consiste en determinar si el diseño realizado para las prácticas de laboratorios por las diferentes alternativas representa una solución efectiva. La figura 1 representa el flujo de trabajo para la determinación del análisis de estabilidad.

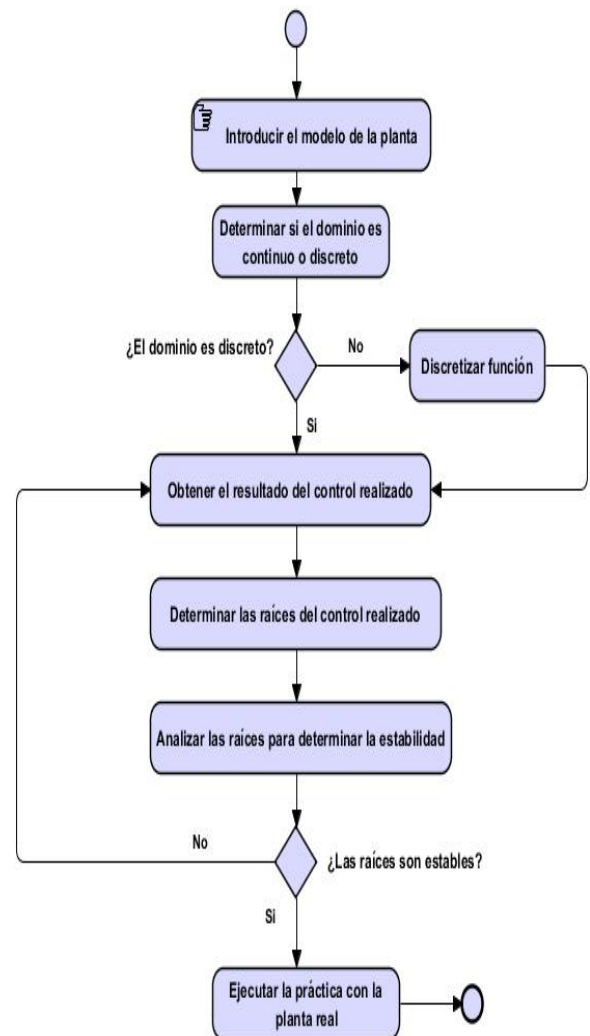


Fig. 1. Flujo de trabajo para realizar análisis de estabilidad.

B. Descripción de las actividades del flujo de trabajo

Introducir el modelo de la planta: para poder establecer un punto de comparación se requiere de un modelo que responda a la dinámica de las estaciones de trabajos acopladas al Sistema de Laboratorios a Distancia [6]. Este elemento representa un parámetro de configuración a ser introducido en la creación de la práctica de laboratorio.

Determinar si el dominio es continuo o discreto: para estandarizar el tratamiento que se le da a los sistemas de

control diseñados, se requiere que sean trabajados en el dominio discreto, en tal sentido la actividad consiste en clasificar si la función introducida es continua o discreta [7].

Discretizar en caso de ser continuo el dominio: la discretización es una alternativa a partir de identificar que la función es continua, se mapea dicha función en el campo discreto y se realiza el tratamiento de la función como tal.

Obtener el resultado del controlador realizado: el resultado del controlador realizado es obtenido a partir de las propuestas realizada por los estudiantes practicantes, representa el diseño del controlador sintetizado por los practicantes.

Determinar las raíces del controlador realizado: para determinar las raíces del controlador, se aplica la transformada inversa de Laplace descomponiendo en fracciones simples para posteriormente determinar las raíces de la ecuación característica.

Analizar las raíces para determinar estabilidad: el análisis de las raíces consiste en determinar si la salida del sistema es estable, debe cumplir que todos los puntos reales de las raíces de la ecuación característica deben ser negativos y estar ubicados en el semiplano real negativo.

Ejecutar la práctica de laboratorio: a partir de la determinación de que el controlador diseñado por el practicante es estable, se envía la información a la planta real para ser realizada la práctica de laboratorios.

El autor implementa un algoritmo para realizar el análisis de estabilidad a partir de la ubicación del lugar geográfico de las raíces. La figura 2 muestra el algoritmo propuesto.

El proceso de introducir el modelo de la planta, se considera como un indicador de entrada al modelo. Una planta es representada por un conjunto de elementos que realizan una actividad específica y responde a una determinada dinámica [8]. En los Sistemas de Laboratorios a Distancia, las plantas representan las estaciones acopladas a las mismas para experimentar sobre determinado proceso.

El modelo es una representación matemática del sistema físico necesario para la descripción de la planta. Una planta puede ser representada por más de un modelo matemático los que a su vez no se contradicen y responden a la misma dinámica [8]. Para el funcionamiento del algoritmo implementado, cuales quiera que sea el modelo utilizado, se garantiza el flujo de trabajo para realizar el análisis de estabilidad.

Para determinar si un sistema está en el campo continuo o discreto, se identifica su representación a partir de las variables complejas que modela el sistema donde S es una variable compleja que representa el plano discreto y Z una variable compleja que representa el plano continuo [9], [10].

Las variables complejas Z y S están relacionadas mediante $Z = e^{ts}$, la localización de los polos y los ceros en el plano Z está relacionada con los polos y los ceros del plano S.

Nombre: Algoritmo para realizar análisis de estabilidad.

Entrada:

Modelo de la planta.

Salida:

Lugar geométrico de las raíces.

La ejecución en la planta real de la práctica solicitada.

Inicio

P1

1. Para cada planta acoplada a las prácticas de laboratorios.
2. Introducir el modelo que representa la dinámica de la planta.
3. Determinar si el dominio es continuo o discreto.

ENTONCES

4. Si dominio = discreto Ir a P2.

SINO

5. Discretizar dominio del modelo de la planta.

P2

6. Capturar el resultado del controlador sintetizado por el practicante.
7. Determinar las raíces del controlador propuesto.
8. Analizar lugar geométrico de las raíces

ENTONCES

9. Si raíz $Raiz = \in \mathbb{R}, 0 \geq Raiz \leq -\infty$, Ir a P3

SINO

10. Ir a Fin

P3

11. Ejecutar la práctica solicitada en la planta real.

Fin

Fig.2. Algoritmo para el análisis de estabilidad.

Por lo tanto, la estabilidad del sistema en lazo cerrado en tiempo discreto lineal e invariante con el tiempo puede determinarse como la base en la posición de los polos de la función de transferencia en pulso en lazo cerrado [11].

Para realizar el análisis de estabilidad es necesario determinar la transformada inversa de Laplace para obtener la respuesta en tiempo real. Para ello hay que descomponer Y_s en fracciones simples. Para realizar la descomposición se deben encontrar las raíces en la ecuación característica $1 + G_c + G_p + G_f + G_m = 0$.

La ecuación característica es el denominador de la función de transferencia [12].

Las raíces de la ecuación característica son $\alpha_i, i = 1, \dots, n$ por tanto, una vez realizada la descomposición en fracciones simples [3].

$$y_s = \frac{y_0}{s} + \frac{y_1}{s - \alpha_1} + \frac{y_2}{s - \alpha_2} + \dots + \frac{y_n}{s - \alpha_n} \quad (1)$$

Tras realizar la transformada de Laplace se obtiene la función en tiempo real:

$$y_{(t)} = y_0 + y_1 e^{\alpha_1 t} + y_2 e^{\alpha_2 t} + y_3 e^{\alpha_3 t} + \dots + y_n e^{\alpha_n t} \quad (2)$$

Todas las raíces de la ecuación característica son un número complejo. Por tanto, para todo i:

$$\alpha = \beta + i\gamma \Rightarrow e^{\alpha t} = e^{\beta t} (\cos \gamma t + i \sin \gamma t) \quad (3)$$

El valor de γ no influencia la salida del sistema desde el punto de vista de estabilidad. En cambio si β es positiva, aparece un problema de estabilidad ya que la respuesta aumenta constantemente en el tiempo. Por tanto, para que la salida del sistema sea estable todas las partes reales de la ecuación característica deben ser negativas y deben estar situadas en el semiplano real negativo [3], [11].

Por último una práctica de laboratorio se ejecutaría si y solo si:

$$\beta \in \mathbb{R}, \beta \leq 0 \quad (4)$$

III. RESULTADOS Y DISCUSIONES

A. Valoración de la contribución

Para realizar la valoración de la contribución, se utilizó el método Delphi. El método permite obtener una valoración de la propuesta presentada mediante el criterio emitido por el grupo de expertos que participa en el proceso los que a su vez se mantienen en condición de anonimato para eliminar las presiones sociales [13], [14].

Para comenzar el proceso se envía el componente a los posibles expertos con una explicación breve sobre los objetivos del trabajo y los resultados que se desean obtener. Para el desarrollo del método se realizan las siguientes actividades [15]:

1. Se establece contacto con los expertos conocedores y se les pide que participen en panel: la actividad obtiene como resultado la captación del grupo de expertos que participará en la aplicación del método.
2. Se manda un cuestionario a los miembros del panel y se les pide que den su opinión en los temas de interés: a partir de un cuestionario previamente elaborado, se obtiene como resultado el conjunto de opiniones de los expertos.
3. Se analizan las respuestas y se identifican las áreas en que están de acuerdo y en las que difieren: la actividad permite realizar un análisis del comportamiento de las respuestas emitidas por los expertos y se identifican los elementos comunes.
4. Se manda al análisis resumido de todas las respuestas a los miembros del panel, se les pide que llenen de nuevo el cuestionario y den sus razones respecto a las opiniones en que difieren: la actividad permite obtener una nueva valoración del grupo de expertos sobre el conocimiento recogido y resumido.
5. Se repite el proceso hasta que se estabilizan las respuestas: la actividad representa la condición de parada del método, a partir de que se estabilicen las

respuestas se concluye su aplicación considerándose este el resultado general.

A continuación se describen el flujo de trabajo utilizado para el desarrollo del método

Para la aplicación del método, se realizó un primer cuestionario con el objetivo de seleccionar el grupo de expertos que intervinieron en el proceso. Se identificaron posibles expertos en la Universidad de Oriente, Universidad Central "Martha Abreu" de las Villas, Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría", Universidad de Pinar del Río y Universidad de las Ciencias Informáticas. Se logró el compromiso desinteresado de 17 expertos, se consideraron algunos utilizados en etapas previas de la investigación. Se le aplicó el cuestionario de auto evaluación donde se obtuvieron los siguientes resultados:

De los 17 expertos 11 se auto evalúan con un nivel de competencia sobre el tema objeto de estudio de 10 puntos, 3 expertos se auto evalúan con un nivel de competencia de 9 puntos y 1 experto se auto evalúa con un nivel de competencia de 8 puntos y 2 expertos se auto evalúan con un nivel de competencia de 7.

A partir del resultado obtenido sobre la auto evaluación de los expertos se determina el Coeficiente de Conocimiento o Información (K_c), tal como expresa la siguiente ecuación:

$$K_c = n(0,1) \quad (3.1)$$

Donde:

K_c : Coeficiente de Conocimiento o Información

n : Rango seleccionado por el experto

El Coeficiente de Conocimiento representa un parámetro importante en la aplicación del método, de este parámetro se puede inferir la confiabilidad de los instrumentos aplicados. Para esta investigación se obtuvo un K_c por experto tal como refiere la tabla 1:

Tabla 1: Coeficiente de Conocimiento por experto.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,8	0,8	0,9	1	0,8	0,9	0,80	0,8	0,9	1
11	12	13	14	15	16	17			
0,9	0,9	1	0,8	0,8	1	0,8			

Sobre las respuestas a las seis preguntas formuladas posteriormente para identificar los niveles de conocimientos que poseen sobre el tema se obtuvieron los siguientes resultados:

Sobre la pregunta 1. Análisis teóricos realizados por usted sobre el tema: se obtuvo una auto evaluación de alta para 14 expertos y media para 3 expertos.

Sobre la pregunta 2. Estudio de trabajos publicados por autores cubanos: se obtuvo una auto evaluación de alta para 15 expertos, media para 1 experto y baja para 1 experto.

Sobre la pregunta 3. Estudio de trabajos de autores extranjeros: se obtuvo una auto evaluación de alta para 15 expertos, media para 1 experto y baja para 1 experto.

Sobre la pregunta 4. Intercambio de experiencias con profesores que utilizan Sistemas de Laboratorios a Distancia para la enseñanza de la automática: se obtuvo una auto evaluación de alta para 12 expertos y media para 5 expertos.

Sobre la pregunta 5. Experiencia práctica del empleo de Sistemas de Laboratorios a Distancia para la enseñanza de la automática: se obtuvo una auto evaluación de alta para 13 expertos y media para 4 expertos.

Sobre la pregunta 6. Conocimiento del estado actual del empleo de los Sistemas de Laboratorios a Distancia para la enseñanza de la automática: se obtuvo una auto evaluación de alta para 15 expertos, media para 1 experto y baja para 1 experto.

A partir del cuestionario de autovaloración se determinó el Coeficiente de Competencia (K) sobre el tema que se investiga. Para determinar el K, primero se determinó el Coeficiente de Conocimiento (Kc) mediante la fórmula $K_c = 0,5$ (número de la escala), escala de auto evaluación de [1,10], [16]. Luego se determinó el Coeficiente de Argumentación o fundamentación (Ka) tal como se expresa a continuación:

$$K_a = \sum ani \quad (3.2)$$

Donde:

K_a : coeficiente de Argumentación.

ani : representan los valores correspondientes a las fuentes de argumentación según tabla patrón

Finalmente se calculó el Coeficiente de Competencia tal como expresa la siguiente ecuación:

$$K = 0,5(K_c + K_a) \quad (3.3)$$

La tabla 2 muestra los valores del Coeficiente de Competencia atribuido a cada experto.

Tabla 2: Coeficiente de Competencia.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,9	0,89	0,94	0,99	0,89	0,94	0,85	0,90	0,85	1
11	12	13	14	15	16	17			
0,9	0,9	1	0,8	0,8	1	0,8			

El cuestionario de auto evaluación permitió seleccionar 17 expertos, 17 con un K mayor o igual a 0,8. Ningún experto posee K bajo (menor o igual a 0,5) y el K general es alto, mayor que 0,8.

Después del análisis de la información obtenida con el primer cuestionario con el que se determinaron los Coeficientes de Conocimiento, Argumentación y Competencia, se aplica el segundo cuestionario para valorar la propuesta metodológica mediante cinco criterios (Muy Adecuado, Bastante Adecuado, Adecuado, Poco Adecuado e Inadecuado) aplicados a cinco incisos o aspectos, Anexo 7:

1. ¿Cómo valora la concepción general del componente propuesto? Objetivo, componentes, cualidades y principios.
2. ¿Cómo valora la fundamentación del componente?
3. ¿Cómo valora el diseño de las etapas del componente propuesto?

4. ¿Cómo valora el cumplimiento del objetivo propuesto por el componente?

5. ¿Cómo valora la concepción general de la herramienta que soporta el modelo propuesto?

En el análisis de los resultados de la valoración de la contribución del modelo, se pudo constatar que todos los incisos fueron evaluados de Muy Adecuado o Bastante Adecuado tal como muestra la tabla 3

Tabla 3: Resultado de la encuesta aplicada a los expertos para valorar la contribución del modelo.

Inciso	C1 Muy Adecuado	C2 Bastante Adecuado	C3 Adecua do	C4 Poco Adecuado	C5 Inadecuad o
1	100 %	0	0	0	0
2	82,35	17,64 %	0	0	0
3	74,47 %	23,52 %	0	0	0
4	94,11 %	5,88 %	0	0	0
5	94,11 %	5,88 %	0	0	0

Entre los criterios emitidos por los expertos prevalecen los siguientes como elementos positivos del modelo:

- La propuesta de componente para el análisis de estabilidad, permite determinar si una práctica es correcta o no.
- El diagnóstico sobre el análisis de estabilidad, brinda un conjunto de informaciones necesarias para establecer el control de acceso a las prácticas de laboratorios.
- El uso de componente para el análisis de estabilidad, resulta novedoso en el contexto de la investigación para dar solución a la problemática planteada.

Adicionalmente a los criterios favorables sobre el modelo, se emitieron las siguientes sugerencias y recomendaciones por parte de los expertos:

- Considerar que el componente puede ser extendido para el desarrollo de otras prácticas de laboratorios.

CONCLUSIONES

Una vez concluida la investigación, se obtuvo un componente para el análisis de estabilidad que se nutre en su concepción del modelo de la planta para determinar el lugar geométrico de la solución propuesta.

A partir de la obtención del lugar geométrico de las raíces se es posible realizar la comparación e su posición determinando si la solución representa una propuesta estable.

El componente propuesto se sometió al criterio de experto para su valoración utilizando el método Delphi obteniéndose como resultado una valoración de muy adecuada.

REFERENCIAS

- [1] J. A. O. Moody, R. E. S. Alonso, J. J. G. Barbosa, and G. R. Morales, "Virtual Laboratories for Training in Industrial Robotics," *IEEE Latin America Transactions*, vol. 14, pp. 665-672, 2016.
- [2] O. Mar, J. Gulín, and S. I., "Sistema de Laboratorios a Distancia para la práctica de Control Automático," *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, vol. Vol.10, pp. 171-183, 2016.

- [3] Arántegui Javier. (2011). *Control de procesos*. Available: http://web.udl.es/usuarios/w3511782/Control_de_procesos/Unidades_files/apuntes_10-11.pdf
- [4] E. Rubio, I. Santana, V. Esparza, and J. Rohten, "Remote laboratories for control education: Experience at the universidad del Bío-Bío," in *2016 IEEE International Conference on Automatica (ICA-ACCA)*, 2016, pp. 1-6.
- [5] A. J. B. Piña. (2011). *Tutoría Virtual*. Available: <http://uhu.es/antonio.barragan/content/estabilidad-sistemas-control-lineales>
- [6] O. Mar, S. I, and J. Gulín. (2017, No. 2). *Competency assessment model for a virtual laboratory system and distance using fuzzy cognitive map*. Available: <http://rev-inv-ope.univ-paris1.fr/files/38217/38217-07.pdf>
- [7] C. A. Cáceres and D. Amaya, "Desarrollo e interacción de un laboratorio virtual asistido y controlado por PLC," *Entre Ciencia e Ingeniería*, vol. 10, pp. 9-15, 2016.
- [8] C. Álvarez, A. Soto, and F. Watkins, "Simulación de controladores digitales," *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, vol. Vol. 17, pp. 309-316, 2009.
- [9] Ogata Katsuhiki, "Sistemas de control en tiempo discreto," 1996.
- [10] J. González, "Propuesta de algoritmo de clasificación genética," *RCI*, vol. Vol. 4 pp. 37-42, 2013.
- [11] Ogata Katsuhiki, "Modern control engineering," *Editorial Engineering/computer science*, 2010.
- [12] L. Lozano, L. Rodríguez, and D. Giraldo, "Diseño, Implementación y Validación de un Controlador PID Autosintonizado," *Rev. Tecno Lógicas* vol. No. 28, pp. 33-53, 2012.
- [13] Gil-Gómez de Liaño and D. Pascual-Ezama, "La metodología Delphi como técnica de estudio de la validez de contenido," *Anales de Psicología*, vol. Vol.28, pp. 1011-1020, 2012.
- [14] M. Varela-Ruiz, L. Díaz-Bravo, and R. García-Durán, "Descripción y usos del método Delphi en investigaciones del área de la salud," *Investigación en Educación Médica*, , vol. Vol.1, pp. 90-95, 2012.
- [15] S. H. d. M. Fernández. (2016). *CRITERIO DE EXPERTOS.SU PROCESAMIENTO A TRAVÉS DEL MÉTODO DELPHY*. Available: http://www.ub.edu/histodidactica/index.php?option=com_content&view=article&id=21:criterio-de-expertos-su-procesamiento-a-traves-del-metodo-delphy&catid=11:
- [16] C. Bouza, C. Castro, J. Garcia, and M. Rueda, *Mathematical modeling of phenomena of the environment and of health*. Vol. 3, 2016.