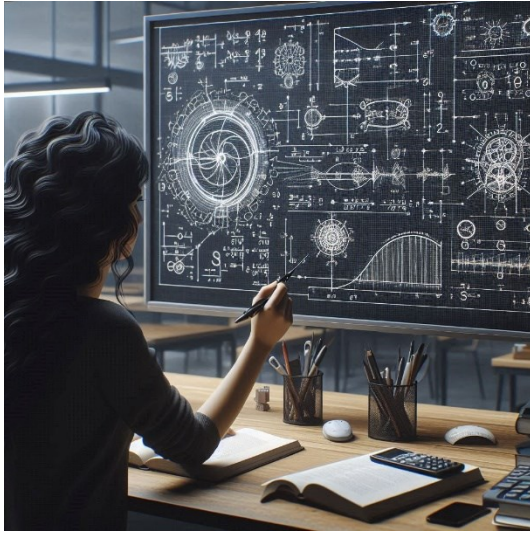


## CONTROL AUTOMÁTICO

### CONSIDERACIONES PARA EL PROYECTO INTEGRADOR



## PARTE 4. Análisis de estabilidad

- **Objetivo general:** Lograr que el estudiante diseñe el sistema de control elegido, aplicando los conceptos asociados a la estabilidad del mismo, utilizando específicamente el criterio de Routh y el método del lugar de las raíces.

- **Objetivos específicos**

Desarrollar en el estudiante:

- La habilidad de determinar la región de estabilidad de un sistema de control.
  - La habilidad de diseñar sistemas de control utilizando el criterio de estabilidad de Routh y el método del lugar de las raíces.
  - La habilidad de crear, implementar y utilizar una aplicación computacional que aplique el criterio de estabilidad de Routh a cualquier polinomio característico de entrada.
  - La habilidad de diseñar y validar un controlador de acción proporcional, proporcional-integral y proporcional-derivativa para el proceso de estudio en el Proyecto Integrador utilizando el análisis de estabilidad de los sistemas.
- **Resultados de aprendizaje**
  - El estudiante debe saber reconocer cuándo un sistema es estable y cuándo no.

- Debe demostrar habilidad en la utilización de los conceptos y criterios asociados a la estabilidad de un sistema, como lo son el criterio de Routh y el método del lugar de las raíces.
- Debe estar en capacidad de modificar adecuadamente los parámetros de un sistema de control para garantizar su estabilidad.

### **Introducción:**

Asegurar la *estabilidad* de un sistema realimentado en lazo cerrado es de gran importancia en el diseño de sistemas de control. Debido a que un sistema en lazo cerrado inestable no tiene valor práctico, se buscan métodos que ayuden a analizar y diseñar sistemas estables, garantizando ¿en qué condiciones se vuelve inestable un sistema?, y si es inestable, ¿cómo se estabiliza? Un *sistema estable* es aquel que tiene una respuesta limitada estando sujeto a una entrada o perturbación limitada.

La estabilidad de un sistema realimentado está directamente relacionada con la localización de las raíces de la ecuación característica de la función de transferencia del sistema. Un sistema de control es *estable* si y sólo si todos los polos en lazo cerrado se encuentran en el semiplano izquierdo del plano complejo  $s$ . El *criterio de estabilidad de Routh* permite hallar la cantidad de polos en lazo cerrado que se encuentran en el semiplano derecho del plano complejo  $s$  sin tener que factorizar el polinomio. De esta forma, se puede determinar la estabilidad sin la carga computacional añadida de determinar los puntos sobre el plano imaginario donde se encuentran las raíces características, proporcionando así un método de diseño para determinar valores de algunos parámetros del sistema que llevarán a la estabilidad en lazo cerrado.

Es importante, además, que el diseñador conozca cómo se mueven los polos en lazo cerrado en el plano  $s$  conforme varía algún parámetro del sistema. Los polos en lazo cerrado son las raíces de la ecuación característica. Si ésta tiene un grado superior a tres, es muy laborioso encontrar sus raíces y se requiere una solución computacional. Sin embargo, simplemente encontrar las raíces de la ecuación característica puede tener un valor limitado, debido a que a medida que cambia algún parámetro de la función de transferencia en lazo abierto, la ecuación característica cambia y deben repetirse los cálculos.

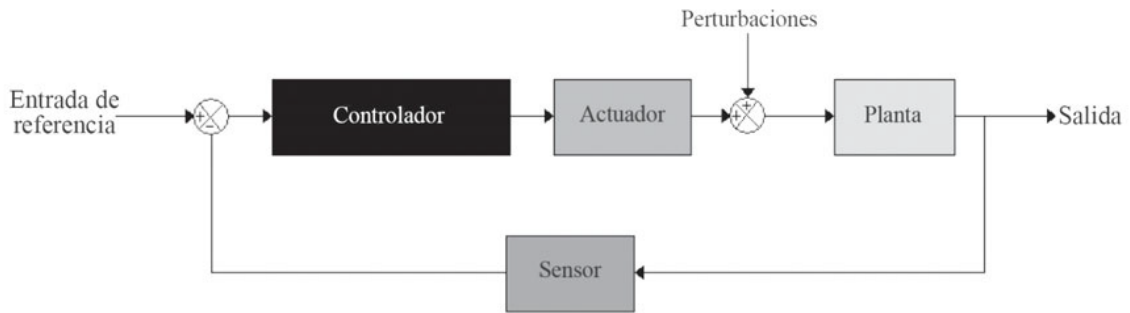
R. Evans diseñó un método sencillo y gráfico para encontrar las raíces de la ecuación característica, que se utiliza ampliamente en la ingeniería de control. Este método se denomina *método del lugar de las raíces*, y en él se presentan las raíces de la ecuación característica para todos los valores de un parámetro del sistema.

Debido a que el criterio de estabilidad de Routh y el método del lugar de las raíces permiten al diseñador predecir los efectos que tiene en la localización de los polos en lazo cerrado, variar cualquier parámetro o añadir polos y ceros en lazo abierto, el desarrollo de esta parte del proyecto va dirigido a la aplicación de estos métodos en el diseño del sistema de control seleccionado mediante el uso de herramientas computacionales como Python.

**Actividades:**

Con el objetivo de modelar, diseñar y simular el sistema de control de un proceso utilizando Python, el siguiente avance del Proyecto Integrador pretende presentar las características de estabilidad de la planta seleccionada utilizando el criterio de estabilidad de Routh y el análisis del lugar de las raíces. Además, se obtendrán los resultados de implementar un controlador proporcional, proporcional-integral y proporcional-derivativo introduciendo diferentes tipos de perturbaciones al sistema. Para lograr esto, cada grupo de trabajo debe atender los siguientes requerimientos del Proyecto Integrador:

- Implementar los siguientes controladores para el sistema asignado, tal como se visualiza en la Figura 1. En Python, se debe tener la opción de seleccionar uno de estos controladores y visualizar la respuesta deseada del sistema de control ante cualquier perturbación:
  - ✓ Controlador Proporcional:  $C(s) = K_p$
  - ✓ Controlador Proporcional Integral:  $C(s) = K_p (1 + 1/T_i s)$
  - ✓ Controlador Proporcional Derivativo:  $C(s) = K_p (1 + T_d s)$



**Figura 1.** Diagrama de bloques de los procesos del Proyecto Integrador

- En Python debe anexarse la sección de análisis de estabilidad, la cual debe cumplir los siguientes requerimientos:
  - Para cada una de las anteriores configuraciones de controladores, permitir modificar las constantes que los determinan.
  - Debe presentarse la región de estabilidad del sistema, para el caso de los controladores que dependen de dos parámetros, o el rango de valores de la constante proporcional que hacen estable al sistema.
  - Al modificar cierta constante debe visualizarse el cambio de la respuesta en el tiempo. Además, se debe visualizar la gráfica del lugar de las raíces del sistema (para el caso del controlador proporcional será siempre la misma, mientras que para los otros dos debe cambiar al modificar los tiempos integral o derivativo).
- Como resultado final del análisis de estabilidad sustentar cuál de los controladores trabajados es el más apropiado para el control de la planta seleccionada teniendo en cuenta la respuesta en el tiempo, su región de estabilidad y su capacidad para eliminar perturbaciones. Para este controlador seleccionado, determinar el valor de la(s) constante(s) del mismo que ofrezcan la respuesta más rápida posible con una sobreelongación máxima del 5%.

#### Entregables:

- Scripts en Python que evalúen la estabilidad y robustez del sistema.
- Informe que discuta los resultados obtenidos y posibles mejoras en el diseño del controlador seleccionado.