Taller primer corte control lineal.

1st *

Universidad Militar Nueva Granada Facultad de Ingeniería
Cajicá, Colombia est.*. 1@unimilitar.edu.co
Cod *

2nd Anggie Gabriela Palacios Lizarazo

Universidad Militar Nueva Granada Facultad de Ingeniería
Cajicá, Colombia est.anggie.palacios@unimilitar.edu.co
Cod 7003592

I. Resumen

En el presente informe se presenta de forma detallada el

II. Abstract

III. Procedimientos y Materiales

Sistemas SISO la función de transferencia es:

$$G(s) = C(sI - A)^{-1}B + D$$

Donde A, B, C y D son matrices de:

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) \\ y(t) = Cx(t) + Du(t) \end{cases}$$

A = Matriz dinámica.

B = Matriz de control.

C = Matriz de lectura.

D = Matriz de paso.

Para obtener la representación de espacios de estado de una función de transferencia usamos Matlab, herramienta que por medio de un código nos genera las matrices de espacios de estado.

Matlab cuenta con la función "tf2ss" la cual toma los parámetros representativos de una función de transferencia y los convierte en parámetros equivalentes a espacios de estado.

El código implementado fue el siguiente.

```
clc;
%Funcion de transferencia, numerador = b, denominador =a.
b = [2 5 6];
a = [1 1 2];
%Matrices de estados
[A,B,C,D] = tf2ss(b,a)
sys = ss(A,B,C,D);
%Observabilidad
Ob = obsv(sys)
rank(Ob)
%Controlabilidad
Co = ctrb(sys)
rank(Co)
```

Figura 1. Codigo Matlab para espacios de estado, observabilidad y controlabilidad. [1]

A. Obtener la representación en espacio de estados de cada una de las siguientes plantas.

1. $\frac{s^2+3s+2}{s^2+3s+4}$

Espacios de estado.

$$A = \begin{bmatrix} -3 & -4 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad C = \begin{bmatrix} 0 & -2 \end{bmatrix} \quad D = 1$$

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -3 & -4 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} u$$

$$y = u$$

2. $\frac{10}{s^3+25s^2+2s+6}$

$$A = \begin{bmatrix} -255 & -2 & -6 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad C = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 10 \end{bmatrix} \quad D = 0$$

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -255 & -2 & -6 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} u$$

$$y = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 10 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix}$$

3. $\frac{2s^2+3s+2}{2s^2+10s+2}$

$$A = \begin{bmatrix} -5 & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad C = \begin{bmatrix} -3.5 & 0 \end{bmatrix} \quad D = 1$$

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -5 & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} u$$

$$y = \begin{bmatrix} -3.5 & 0 \end{bmatrix} + u$$

4. $\frac{3s^2+5s+5}{20s^3+2s^2+5s+1}$

$$A = \begin{bmatrix} -0.1 & -0.25 & -0.05 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$C = \begin{bmatrix} 0.15 & 0.25 & 0.25 \end{bmatrix} \quad D = 1$$

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.25 & -0.25 & -0.05 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} u$$

$$y = \begin{bmatrix} 0.15 & 0.25 & 0.3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} + u$$

5. $\frac{2s^2+5s+6}{100s^2+s+2}$

$$A = \begin{bmatrix} -0.01 & -0.022 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad C = \begin{bmatrix} 0.0498 & 0.0596 \end{bmatrix}$$

$$D = \begin{bmatrix} 0.0200 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.01 & -0.022 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} u$$

$$y = \begin{bmatrix} 0.0498 & 0.0596 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0.0200 \end{bmatrix} u$$

6. $\frac{s^2+30s+2}{11s^3+2s^2+3s+4}$

$$A = \begin{bmatrix} -0.1818 & -0.2727 & -0.3636 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$C = \begin{bmatrix} 0.0909 & 2.7273 & 0.1818 \end{bmatrix} \quad D = 0$$

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.1818 & -0.2727 & -0.3636 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} u$$

$$y = \begin{bmatrix} 0.0909 & 2.7273 & 0.1818 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix}$$

7. $\frac{10s^3+2s^2+3s+4}{s^3+25s^2+2s+6}$

$$A = \begin{bmatrix} -25 & -2 & -6 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$C = [-248 \quad -17 \quad -56] \quad D = 10$$

$$\begin{bmatrix} \dot{x_1} \\ \dot{x_2} \\ \dot{x_3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -25 & -2 & -6 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} u$$

$$y = \begin{bmatrix} -248 & -17 & -56 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} + 10u$$

8. $\frac{2s^3+21s^2+2s+2}{2s^3+2s^2+10s+2}$

$$A = \begin{bmatrix} -0.6667 & -3.33 & -0.6667 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$C = [1.44 \quad -27.11 \quad -4.88] \quad D = 8.33$$

$$\begin{bmatrix} \dot{x_1} \\ \dot{x_2} \\ \dot{x_3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.6667 & -3.33 & -0.6667 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} u$$

$$y = \begin{bmatrix} 1.44 & -27.11 & -4.88 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} + 8.33u$$

9. $\frac{3s^2+50s+5}{10s^3+5s^2+50s+1}$

$$A = \begin{bmatrix} -0.5 & -5 & -0.1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$C = [0.3 \quad 5 \quad 0.5] \quad D = 0$$

$$\begin{bmatrix} \dot{x_1} \\ \dot{x_2} \\ \dot{x_3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.5 & -5 & -0.1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} u$$

$$y = \begin{bmatrix} 0.3 & 5 & 0.5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix}$$

10. $\frac{22s^3+5s^2+6s+3}{80s^3+25s^2+2s+1}$

$$A = \begin{bmatrix} -0.3125 & -0.025 & -0.0125 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$C = [-0.0234 \quad 0.0681 \quad 0.0341] \quad D = 0.2750$$

$$\begin{bmatrix} \dot{x_1} \\ \dot{x_2} \\ \dot{x_3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.3125 & -0.025 & -0.0125 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} u$$

$$y = \begin{bmatrix} -0.0234 & 0.0681 & 0.0341 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} + 0.2750u$$

11. $\frac{s^2+25s+2}{s^2+25s+4}$

$$A = \begin{bmatrix} -25 & -4 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad C = [0 \quad -2]$$

$$D = [1]$$

$$\begin{bmatrix} \dot{x_1} \\ \dot{x_2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -25 & -4 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} u$$

$$y = \begin{bmatrix} 0 & -2 \end{bmatrix} + u$$

12. $\frac{5s^2+4s+6}{s^3+25s^2+2s+6}$

$$A = \begin{bmatrix} -25 & -2 & -6 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad C = [5 \quad 4 \quad 6] \quad D = 1$$

$$\begin{bmatrix} \dot{x_1} \\ \dot{x_2} \\ \dot{x_3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -25 & -2 & -6 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} u$$

$$y = \begin{bmatrix} 5 & 4 & 6 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} + u$$

13. $\frac{2s^2+3s+2}{222s^2+10s+2}$

$$A = \begin{bmatrix} -0.0450 & -0.0090 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$C = [0.01313 \quad 0.0089] \quad D = [0.0090]$$

$$\begin{bmatrix} \dot{x_1} \\ \dot{x_2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.0450 & -0.0090 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} u$$

$$y = \begin{bmatrix} 0.01313 & 0.0089 \end{bmatrix} + 0.0090u$$

14. $\frac{3s^2+5s+5}{s^3+5s^2+5s+1}$

$$A = \begin{bmatrix} -5 & -5 & -1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad C = [3 \quad 5 \quad 5] \quad D = 0$$

$$\begin{bmatrix} \dot{x_1} \\ \dot{x_2} \\ \dot{x_3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -5 & -5 & -1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} u$$

$$y = \begin{bmatrix} 3 & 5 & 5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix}$$

15. $\frac{2s^2+5s+6}{s^2+s+2}$

$$A = \begin{bmatrix} -1 & -2 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$C = [3 \quad 2] \quad D = [2]$$

$$\begin{bmatrix} \dot{x_1} \\ \dot{x_2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & -2 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} u$$

$$y = \begin{bmatrix} 3 & 2 \end{bmatrix} + 2u$$

Controlabilidad.

Controlabilidad del modelo desde espacio de estados. Un sistema dinámico se considera controlable siempre y cuando se puedan aplicar señales de control capaces de accionar el cualquier estado del sistema dentro de una cantidad de tiempo finita. Matlab cuenta con una función “ctrb” capaz de calcular la matriz de controlabilidad a partir de matrices de estado, esta matriz sirve para determinar la controlabilidad. [1]

Observabilidad.

Un sistema dinámico se puede considerar observable siempre que todos sus estados puedan conocerse a partir de la salida del sistema. Matlab cuenta con la función “obsv” la cual calcula una matriz de observabilidad a partir de las matrices de estado, dicha matriz es utilizada para determinar la observabilidad del sistema. [2]

B. Analizar controlabilidad y observabilidad

1. $\frac{s^2+3s+2}{s^2+3s+4}$

Controlabilidad.

Matriz de controlabilidad.

$$Co = \begin{bmatrix} 1 & -3 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Rango.

$$ans = 2$$

Dado a que el rango de la matriz de controlabilidad Co es igual al numero de estados del sistema es controlable.

Observabilidad.

Matriz de observabilidad.

$$Ob = \begin{bmatrix} 0 & -2 \\ -2 & 0 \end{bmatrix}$$

Rango.

$$ans = 2$$

Dado a que el rango de la matriz de observabilidad Ob es diferente al número de estados del sistema no es observable.

2. $\frac{10}{s^3+25s^2+2s+6}$

Controlabilidad.

Matriz de controlabilidad.

$$Co = \begin{bmatrix} 1 & -25 & 623 \\ 0 & 1 & -25 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Rango.

$$ans = 3$$

Dado a que el rango de la matriz de controlabilidad Co es igual al número de estados del sistema es controlable.

Observabilidad.

Matriz de observabilidad.

$$Ob = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 10 \\ 0 & 10 & 0 \\ 10 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Rango.

$$ans = 3$$

Dado a que el rango de la matriz de obsevabilidad Ob es igual al número de estados del sistema es observable.

3. $\frac{2s^2+3s+2}{2s^2+10s+2}$

Controlabilidad.

Matriz de controlabilidad.

$$Co = \begin{bmatrix} 1 & -5 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Rango.

$$ans = 2$$

Dado a que el rango de la matriz de controlabilidad Co es igual al número de estados del sistema es controlable.

Observabilidad.

Matriz de observabilidad.

$$Ob = \begin{bmatrix} -3.5 & 0 \\ 17.5 & 3.5 \end{bmatrix}$$

Rango.

$$ans = 2$$

Dado a que el rango de la matriz de obsevabilidad Ob es igual al número de estados del sistema es observable.

4. $\frac{3s^2+5s+5}{20s^3+2s^2+5s+1}$

Controlabilidad.

Matriz de controlabilidad.

$$Co = \begin{bmatrix} 1 & -0.1 & -0.24 \\ 0 & 1 & -0.1 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Rango.

$$ans = 3$$

Dado a que el rango de la matriz de controlabilidad Co es igual al número de estados del sistema es controlable.

5. $\frac{2s^2+5s+6}{100s^2+s+2}$

Controlabilidad.

Matriz de controlabilidad.

$$Co = \begin{bmatrix} 1 & -0.01 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Rango.

$$ans = 2$$

Dado a que el rango de la matriz de controlabilidad Co es igual al número de estados del sistema es controlable.

Observabilidad.

Matriz de observabilidad.

$$Ob = \begin{bmatrix} 0.0498 & 0.0596 \\ 0.0591 & -0.0010 \end{bmatrix}$$

Rango.

$$ans = 2$$

Dado a que el rango de la matriz de obsevabilidad Ob es igual al número de estados del sistema es observable.

6. $\frac{s^2+30s+2}{11s^3+2s^2+3s+4}$

Controlabilidad.

Matriz de controlabilidad.

$$Co = \begin{bmatrix} 1 & -0.1818 & -0.2396 \\ 0 & 1 & -0.1818 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Rango.

$$ans = 3$$

Dado a que el rango de la matriz de controlabilidad Co es igual al número de estados del sistema es controlable.

Observabilidad.

Matriz de observabilidad.

$$Ob = \begin{bmatrix} 0.0909 & 2.7273 & 0.1818 \\ 2.7107 & 0.1570 & -0.0331 \\ -0.3358 & -0.7724 & -0.9857 \end{bmatrix}$$

Rango.

$$ans = 3$$

Dado a que el rango de la matriz de obsevabilidad Ob es igual al número de estados del sistema es observable.

7. $\frac{10s^3+2s^2+3s+4}{s^3+25s^2+2s+6}$

Controlabilidad.

Matriz de controlabilidad.

$$Co = \begin{bmatrix} 1 & -25 & 623 \\ 0 & 1 & -25 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Rango.

$$ans = 3$$

Dado a que el rango de la matriz de controlabilidad Co es igual al número de estados del sistema es controlable.

Observabilidad.

Matriz de observabilidad.

$$Ob = \begin{bmatrix} -248 & -17 & -56 \\ 6183 & 440 & 1488 \\ -154135 & -10878 & -37098 \end{bmatrix}$$

Rango.

$$ans = 3$$

Dado a que el rango de la matriz de obsevabilidad Ob es igual al número de estados del sistema es observable.

8. $\frac{2s^3+21s^2+2s+2}{2s^3+2s^2+10s+2}$

Controlabilidad.

Matriz de controlabilidad.

$$Co = \begin{bmatrix} 1 & -1 & -4 \\ 0 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Rango.

$$ans = 3$$

Dado a que el rango de la matriz de controlabilidad Co es igual al número de estados del sistema es controlable.

Observabilidad.

Matriz de observabilidad.

$$Ob = \begin{bmatrix} 9.5 & -4 & 0 \\ -13.5 & -47.5 & -9.5 \\ -34 & 58 & 13.5 \end{bmatrix}$$

Rango.

$$ans = 3$$

Dado a que el rango de la matriz de obsevabilidad Ob es igual al número de estados del sistema es observable.

9. $\frac{3s^2+50s+5}{10s^3+5s^2+50s+1}$

Controlabilidad.

Matriz de controlabilidad.

$$Co = \begin{bmatrix} 1 & -0.5 & -4.75 \\ 0 & 1 & -0.5 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Rango.

$$ans = 3$$

Dado a que el rango de la matriz de controlabilidad Co es igual al número de estados del sistema es controlable.

Observabilidad.

Matriz de observabilidad.

$$Ob = \begin{bmatrix} -0.3 & 5 & 0.5 \\ 4.85 & -1 & -0.03 \\ -3.425 & -24.28 & -0.485 \end{bmatrix}$$

Rango.

$$ans = 3$$

Dado a que el rango de la matriz de obsevabilidad Ob es igual al número de estados del sistema es observable.

10. $\frac{22s^3+5s^2+6s+3}{80s^3+25s^2+2s+1}$

Controlabilidad.

Matriz de controlabilidad.

$$Co = \begin{bmatrix} 1 & -0.3125 & 0.0727 \\ 0 & 1 & -0.3125 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Rango.

$$ans = 3$$

Dado a que el rango de la matriz de controlabilidad Co es igual al número de estados del sistema es controlable.

Observabilidad.

Matriz de observabilidad.

$$Ob = \begin{bmatrix} -0.0123 & 0.0612 & 0.0306 \\ 0.0647 & 0.0309 & 0.0001 \\ 0.0129 & -0.0013 & -0.0007 \end{bmatrix}$$

Rango.

$$ans = 3$$

Dado a que el rango de la matriz de obsevabilidad Ob es igual al número de estados del sistema es observable.

11. $\frac{s^2+25s+2}{s^2+25s+4}$

Controlabilidad.

Matriz de controlabilidad.

$$Co = \begin{bmatrix} 0 & -2 \\ -2 & 0 \end{bmatrix}$$

Rango.

$$ans = 2$$

Dado a que el rango de la matriz de controlabilidad Co es igual al número de estados del sistema es controlable.

Observabilidad.

Matriz de observabilidad.

$$Ob = \begin{bmatrix} 1 & -25 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Rango.

$$ans = 2$$

Dado a que el rango de la matriz de obsevabilidad Ob es igual al número de estados del sistema es observable.

12. $\frac{5s^2+4s+6}{s^3+25s^2+2s+6}$

Controlabilidad.

Matriz de controlabilidad.

$$Co = \begin{bmatrix} 1 & -25 & 623 \\ 0 & 1 & -25 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Rango.

$$ans = 3$$

Dado a que el rango de la matriz de controlabilidad Co es igual al número de estados del sistema es controlable.

Observabilidad.

Matriz de observabilidad.

$$Ob = \begin{bmatrix} 5 & 4 & 6 \\ -121 & -4 & -30 \\ 3021 & 212 & 726 \end{bmatrix}$$

Rango.

$$ans = 3$$

Dado a que el rango de la matriz de obsevabilidad Ob es igual al número de estados del sistema es observable.

13. $\frac{2s^2+3s+2}{222s^2+10s+2}$

Controlabilidad.

Matriz de controlabilidad.

$$Co = \begin{bmatrix} 1 & -25 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Rango.

$$ans = 2$$

Dado a que el rango de la matriz de controlabilidad Co es igual al número de estados del sistema es controlable

Observabilidad.

Matriz de observabilidad.

$$Ob = \begin{bmatrix} 0.0131 & 0.0089 \\ 0.0083 & -0.0001 \end{bmatrix}$$

Rango.

$$ans = 2$$

Dado a que el rango de la matriz de obsevabilidad Ob es igual al número de estados del sistema es observable.

14. $\frac{3s^2+5s+5}{s^3+5s^2+5s+1}$

Controlabilidad.

Matriz de controlabilidad.

$$Co = \begin{bmatrix} 1 & -5 & 20 \\ 0 & 1 & -5 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Rango.

$$ans = 3$$

Dado a que el rango de la matriz de controlabilidad Co es igual al número de estados del sistema es controlable.

Observabilidad.

Matriz de observabilidad.

$$Ob = \begin{bmatrix} 3 & 5 & 5 \\ -10 & -10 & -3 \\ 40 & 47 & 10 \end{bmatrix}$$

Rango.

$$ans = 3$$

Dado a que el rango de la matriz de obsevabilidad Ob es igual al número de estados del sistema es observable.

15. $\frac{2s^2+5s+6}{s^2+s+2}$

Controlabilidad.

Matriz de controlabilidad.

$$Co = \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Rango.

$$ans = 2$$

Dado a que el rango de la matriz de controlabilidad Co es igual al número de estados del sistema es controlable

Observabilidad.

Matriz de observabilidad.

$$Ob = \begin{bmatrix} 3 & 2 \\ -1 & -6 \end{bmatrix}$$

Rango.

$$ans = 2$$

Dado a que el rango de la matriz de obsevabilidad Ob es igual al número de estados del sistema es observable.

Rout-Horwitz

El teorema de Rout-Horwitz consiste en un algoritmo para poder determinar si alguna raíz o polo en el semiplano derecho del plano complejo, donde si al menos existe una raíz el sistema es inestable, caso contrario el sistema es inestable.

```
G = tf([2 5 6], [1 1 2]);
rlocus(G);
r = routh([1 4 3 2]);
roots([1 4 3 2])
```

Figura 2. Código Matlab grafica Rout-Horwitz [1]

C. Analizar estabilidad mediante tabla de Rout-Horwitz

1. $\frac{s^2+3s+2}{s^2+3s+4}$

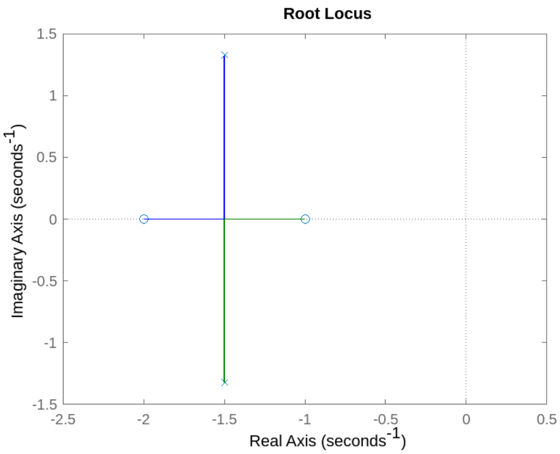

Figura 1. Grafica de estabilidad del sistema de la primera planta. [1]

2. $\frac{10}{s^3+25s^2+2s+6}$

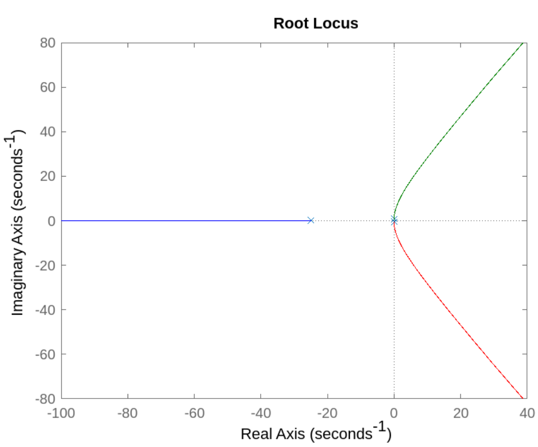

Figura 2. Grafica de estabilidad del sistema de la segunda planta. [1]

3. $\frac{2s^2+3s+2}{2s^2+10s+2}$

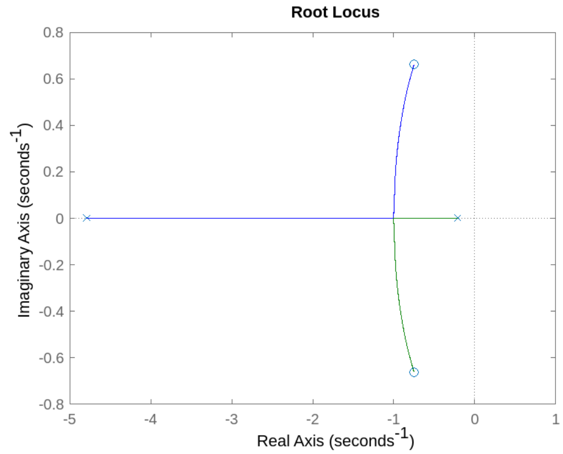

Figura 3. Grafica de estabilidad del sistema de la tercera planta. [1]

4. $\frac{3s^2+5s+5}{20s^3+2s^2+5s+1}$

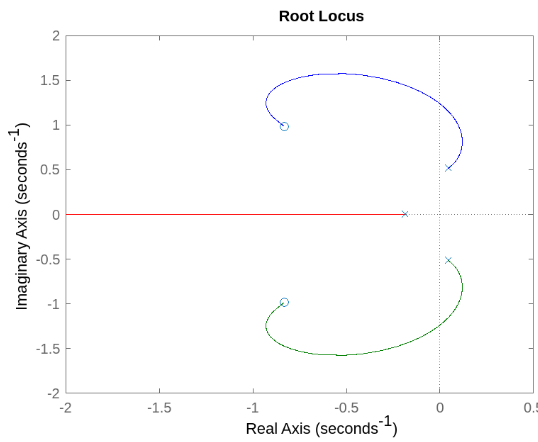

Figura 4. Grafica de estabilidad del sistema de la cuarta planta. [1]

5. $\frac{2s^2+5s+6}{100s^2+s+2}$

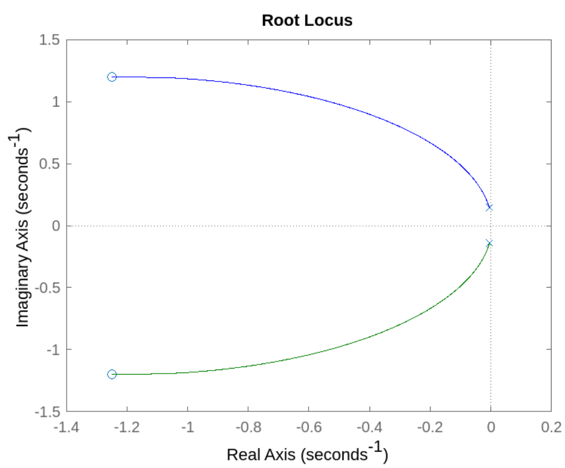

Figura 4. Grafica de estabilidad del sistema de la quinta planta. [1]

6. $\frac{s^2+30s+2}{11s^3+2s^2+3s+4}$

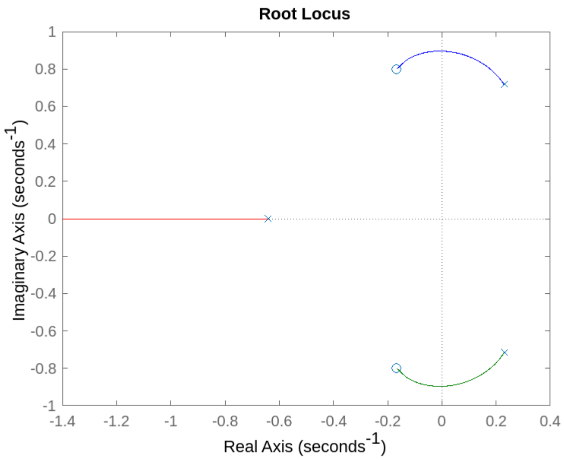

Figura 4. Grafica de estabilidad del sistema de la sexta planta. [1]

7. $\frac{10s^3+2s^2+3s+4}{s^3+25s^2+2s+6}$

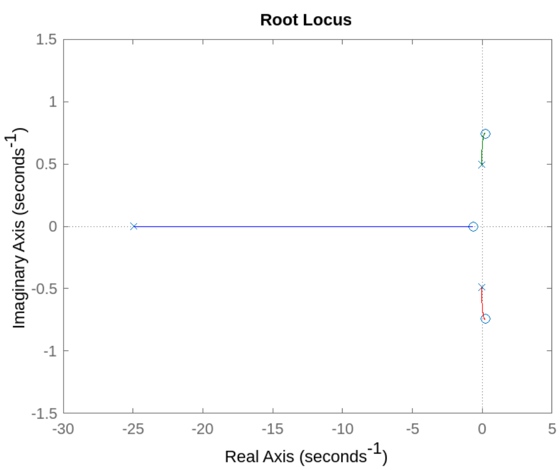

Figura 4. Grafica de estabilidad del sistema de la quinta planta. [1]

8. $\frac{2s^3+21s^2+2s+2}{2s^3+2s^2+10s+2}$

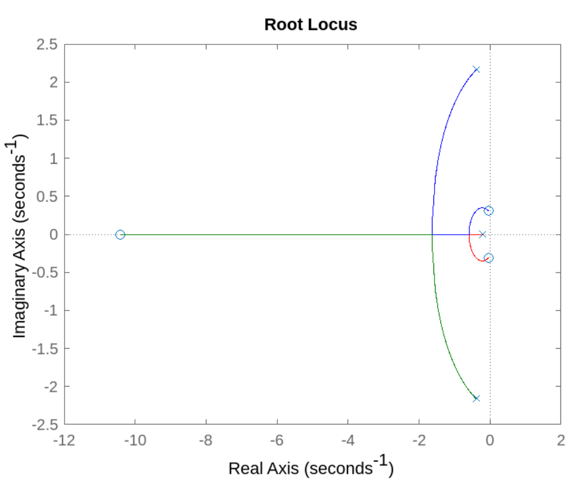

Figura 4. Grafica de estabilidad del sistema de la octava planta. [1]

9. $\frac{3s^2+50s+5}{10s^3+5s^2+50s+1}$

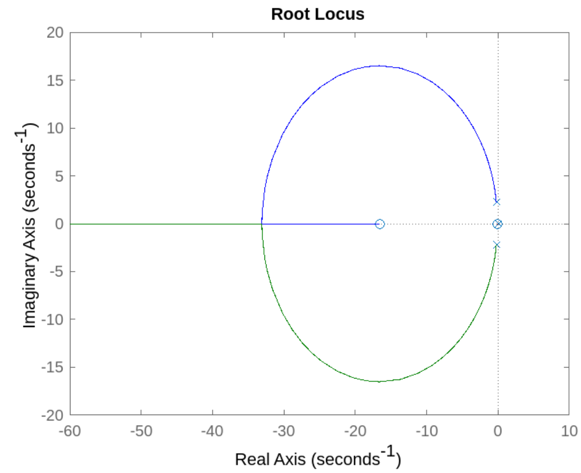

Figura 4. Grafica de estabilidad del sistema de la octava planta. [1]

10. $\frac{22s^3+5s^2+6s+3}{80s^3+25s^2+2s+1}$

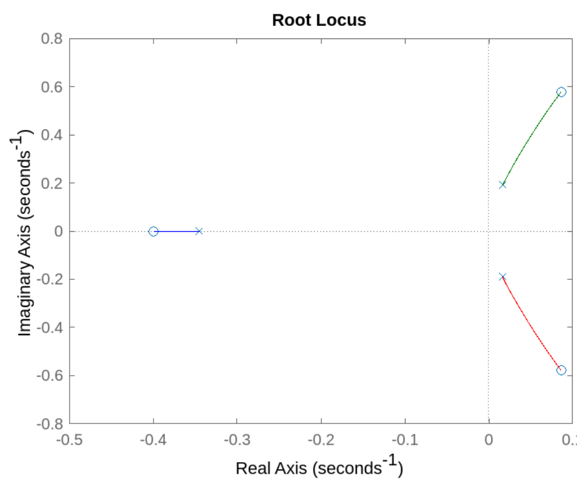

Figura 4. Grafica de estabilidad del sistema de la quinta planta. [1]

11. $\frac{s^2+25s+2}{s^2+25s+4}$

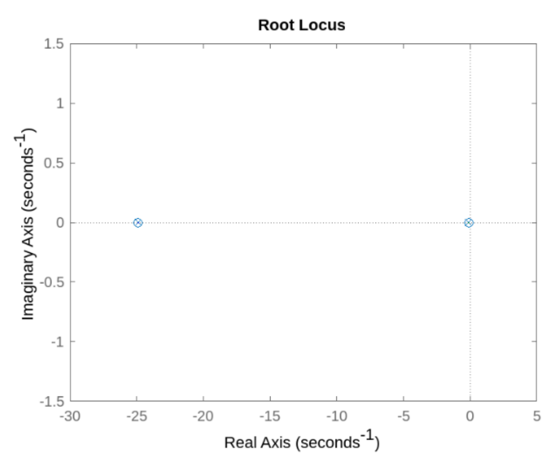

Figura 4. Grafica de estabilidad del sistema de la quinta planta. [1]

12. $\frac{5s^2+4s+6}{s^3+25s^2+2s+6}$

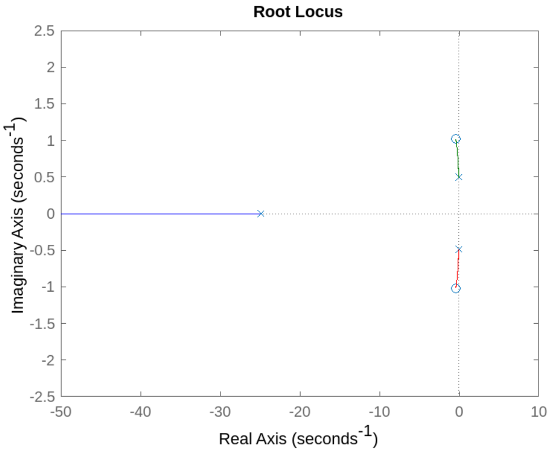

Figura 4. Grafica de estabilidad del sistema de la quinta planta. [1]

13. $\frac{2s^2+3s+2}{222s^2+10s+2}$

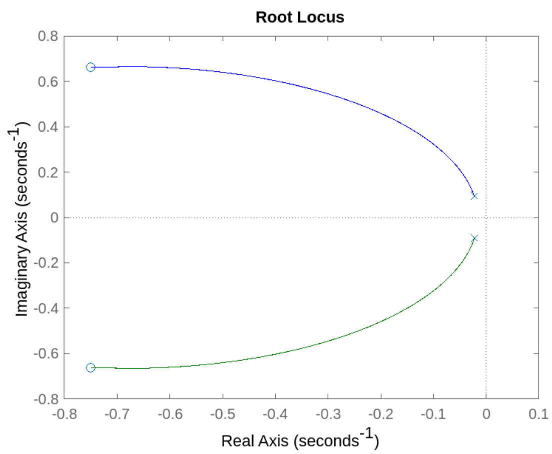

Figura 4. Grafica de estabilidad del sistema de la quinta planta. [1]

14. $\frac{3s^2+5s+5}{s^3+5s^2+5s+1}$

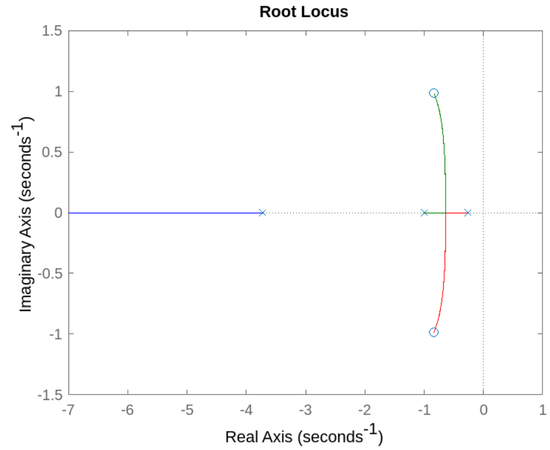

Figura 4. Grafica de estabilidad del sistema de la quinta planta. [1]

15. $\frac{2s^2+5s+6}{s^2+s+2}$

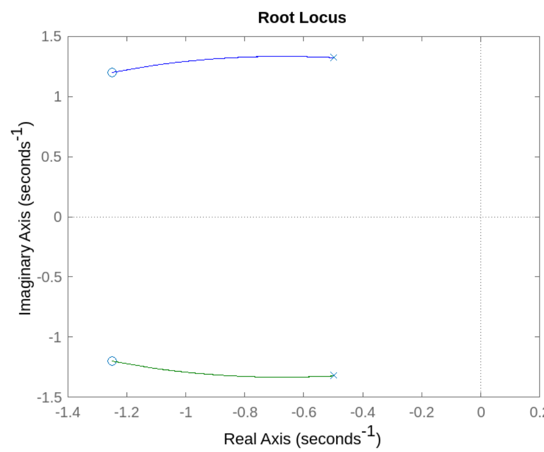

Figura 4. Grafica de estabilidad del sistema de la quinta planta. [1]

IV. CONCLUSIONES

[1] https://la.mathworks.com/help/control/ref/ss.ctrb.html