UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN

FACULTAD DE INGENIERIA PRODUCCIÓN Y SERVICIOS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

CURSO:

SISTEMAS DE CONTROL AVANZADO

DOCENTE:

Dr. Juan C. Cutipa Luque

LABORATORIO N°03:

"Linealización numérica del sistema MoDiCA-X "

Presentado por:

- Huaylla Quispe Jerson Sebastián
- Alvarez Oviedo Anthony
- Vasquez Rivera Anthony A.
- Salazar Chavez Luis A

Arequipa – Perú

2020

I. RESUMEN

Se requirió realizar el laboratorio tomando en consideración el proyecto MoDiCA-X, el cual se tenia que hallar el control, no sin antes verificar su controlabilidad, observabilidad y la viabilidad de este.

.

II. INTRODUCCION

III. DESARROLLO EXPERIMENTAL

1. Exprese el modelo lineal de MoDiCA-X.

El modelo lineal, se obtiene a partir de la linealización del laboratorio anterior:

$$\dot{x} = Ax + Bu$$
$$\dot{y} = Cx + Du$$

Entonces las matrices con el modelo linealizado son:

$$\boldsymbol{A} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -0.0014 & 0.1271 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & -0.0025 & 19.1713 & 0 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 \\ 1.777 \\ 0 \\ 3.4296 \end{bmatrix}$$

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$D = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

2. Proyecte un controlador LQR y un observador de estados (determinístico o de Kalman)

Se define las matrices Q y R para el controlador LQR

$$Q = \begin{bmatrix} 400 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 100 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$R = [1]$$

Código para obtener las matrices de controlabilidad y observabilidad

```
%%Obtenemos las matrices de controlabilidad y observabilidad
A=[0 1 0 0;0 -0.0014 0.1271 0;0 0 0 1;0 -0.0025 19.1713 0];
B=[0;1.777;0;3.4296];
C=[1 0 0 0;0 0 1 0 ];
D=[0;0];
Q=[400 0 0 0;0 0 0 0 ;0 0 100 0;0 0 0 0]; R=[1];
C=[1 0 0 0 ;0 0 1 0];

D=[0;0];
cc=ctrb(A,B)
ccr=rank(cm)
ob=obsv(A,C)
obr=rank(om)
G
P

w = logspace(-2,3,100);
sv = sigma(ss(A, B, C, D),w);
sv = 20*log10(sv); semilogx(w, sv)
title ('Singular Values ')
grid
xlabel('Frequency (rad/sec)')
ylabel('Amplitud (dB)')
[G,P,E]=lqr(A,B,Q,R);
```

Obtenemos la matriz de controlabilidad

```
cc =[0     1.7770    -0.0025     0.4359
    1.7770    -0.0025     0.4359    -0.0012
         0     3.4296    -0.0044    65.7499
    3.4296    -0.0044    65.7499    -0.0863]
ccr = [4]
```

Obtenemos la matriz de observabilidad

```
ob =[    1.0000         0         0         0
         0         0    1.0000         0
         0    1.0000         0         0
         0         0         0    1.0000
         0   -0.0014    0.1271         0
         0   -0.0025   19.1713         0
         0    0.0000   -0.0002    0.1271
         0    0.0000   -0.0003   19.1713]
```

```
obr = [4]
```

Obtenemos la matriz de la ganancia

```
G = [-20.000  -14.257   55.416   12.512]
```

Obtenemos la matriz con los polos

```
P =[285.130   101.621  -250.247   -58.485
   101.621    46.917  -119.893   -28.467
  -250.247  -119.893   344.292    78.279
   -58.485   -28.467    78.279    18.398]
```

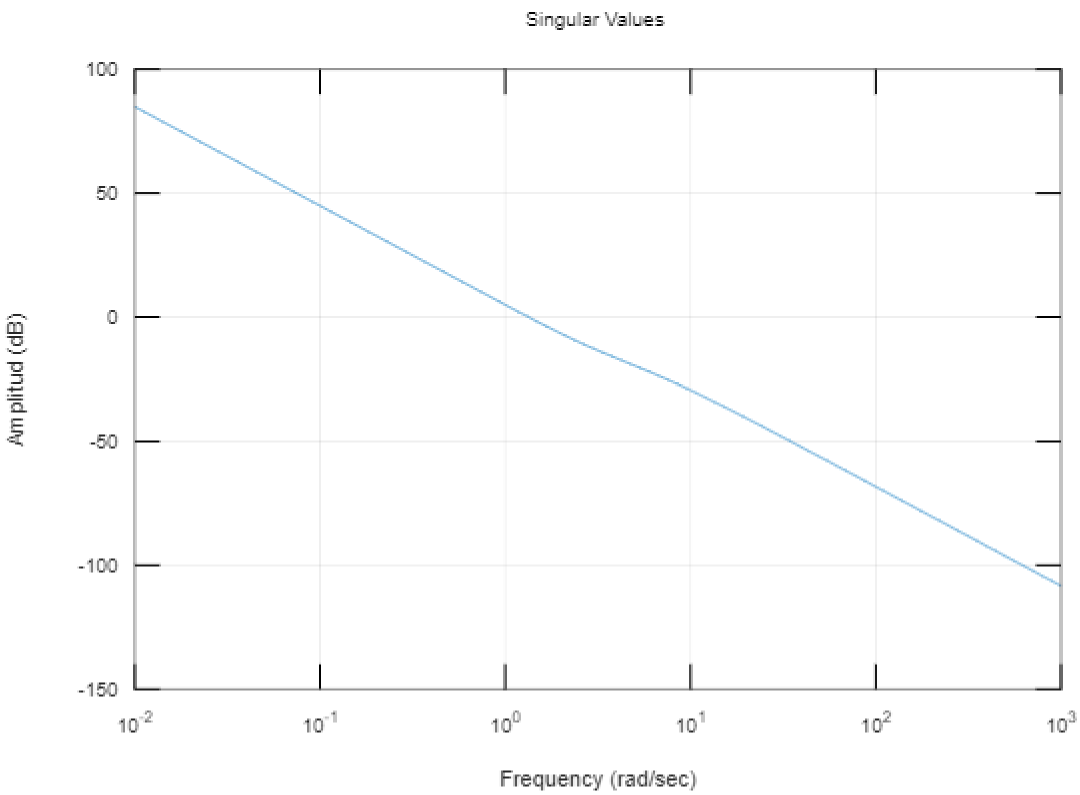


Figura 1: Valores Singulares

Se agrega un integrador a la planta y se evalúa su comportamiento

```
//clear
//clc
// MATRIZ DE ESTADOS
A=[0 1 0 0;0 -0.0014 0.1271 0;0 0 0 1;0 -0.0025 19.1713 0]; B=[0;1.777;0;3.4296]; C=[1 0 0 0;0 0 1 0 ];
D=[0;0];
sys = syslin("c",A, B, C);
Ap=sys.A; Bp=sys.B; Cp=sys.C; Dp=sys.D;
```

```
[ns,nc]=size(Bp);

Ain=[Ap Bp; 0*ones(nc,ns) 0*ones(nc,nc)];
Bin=[0*ones(ns,nc); eye(nc)];
Cin=[Cp 0*ones(2,1)];
Din=0*ones(2,nc);

C=Cin'*Cin
C=diag([400 0 100 0 0])
rho=1;
R = rho*eye(nc);
//now we calculate B
B=Bin*inv(R)*Bin';
A=Ain;
X=riccati(A,B,C,'c','eigen');   //the value of the gain G
G=inv(R)*Bin'*X; //<--this value is important mtfk;
```

Matriz A con integrador

```
Ain  = [   0.        1.              0.              0.         0.
           0.       -0.0014         0.1271          0.         1.777
           0.        0.              0.              1.         0.
           0.       -0.0025         19.1713         0.         3.4296
           0.        0.              0.              0.         0.   ]
```

Matriz B con integrador

```
Bin  = [   0.
           0.
           0.
           0.
           1.]
```

Matriz C con integrador

```
Cin  = [   1.   0.   0.   0.   0.
           0.   0.   1.   0.   0.]
           1.
```

Matriz D con integrador

```
Din  = [   0.
           0.]
```

Usamos octave para obtener las matrices de controlabilidad y observabilidad con el integrador (planta aumentada)

Ain=[0 1 0 0 0;0 -0.0014 0.1271 0 1.777;0 0 0 1 0;0 -0.0025 19.1713 0 3.4296;0 0 0 0 0];
Bin=[0;0;0;0;1];
Cin=[1 0 0 0 0;0 0 1 0 0];
Din=[0;0];
Q=[400 0 0 0;0 0 0 0 ;0 0 100 0;0 0 0 0]; R=[1];
C=[1 0 0 0 0;0 0 1 0 0];

```
cci=ctrb(Ai,Bi)
cmrin=rank(cmi)
obin=obsv(Ai,Ci)
obrin=rank(omi)

w = logspace(-2,3,100);
sv = sigma(ss(Ai, Bi, Ci, Di),w);
sv = 20*log10(sv); semilogx(w, sv)

nc=1,
pnint = eye(nc)
mu = 0.01;
THETA = mu*eye(nc)
sysi=ss(Ai,Bi,Ci,Di);
Vd=0.1*eye(5)
Vn=0.01*eye(2,2)
[H, ga1, ga2]=lqe(sysi ,Vd,Vn)
```

Matriz de controlabilidad con integrador

```
cci =

         0         0    1.7770   -0.0025    0.4359
         0    1.7770   -0.0025    0.4359   -0.0012
         0         0    3.4296   -0.0044   65.7499
         0    3.4296   -0.0044   65.7499   -0.0863
    1.0000         0         0         0         0

cmrin = 5
```

Matriz de obserbabilidad con integrador

```
obin =

    1.0000         0         0         0         0
         0         0    1.0000         0         0
         0    1.0000         0         0         0
         0         0         0    1.0000         0
         0   -0.0014    0.1271         0    1.7770
         0   -0.0025   19.1713         0    3.4296
         0    0.0000   -0.0002    0.1271   -0.0025
         0    0.0000   -0.0003   19.1713   -0.0044
         0   -0.0003    2.4367   -0.0002    0.4359
         0   -0.0479  367.5387   -0.0003   65.7499

obrin = 5
```

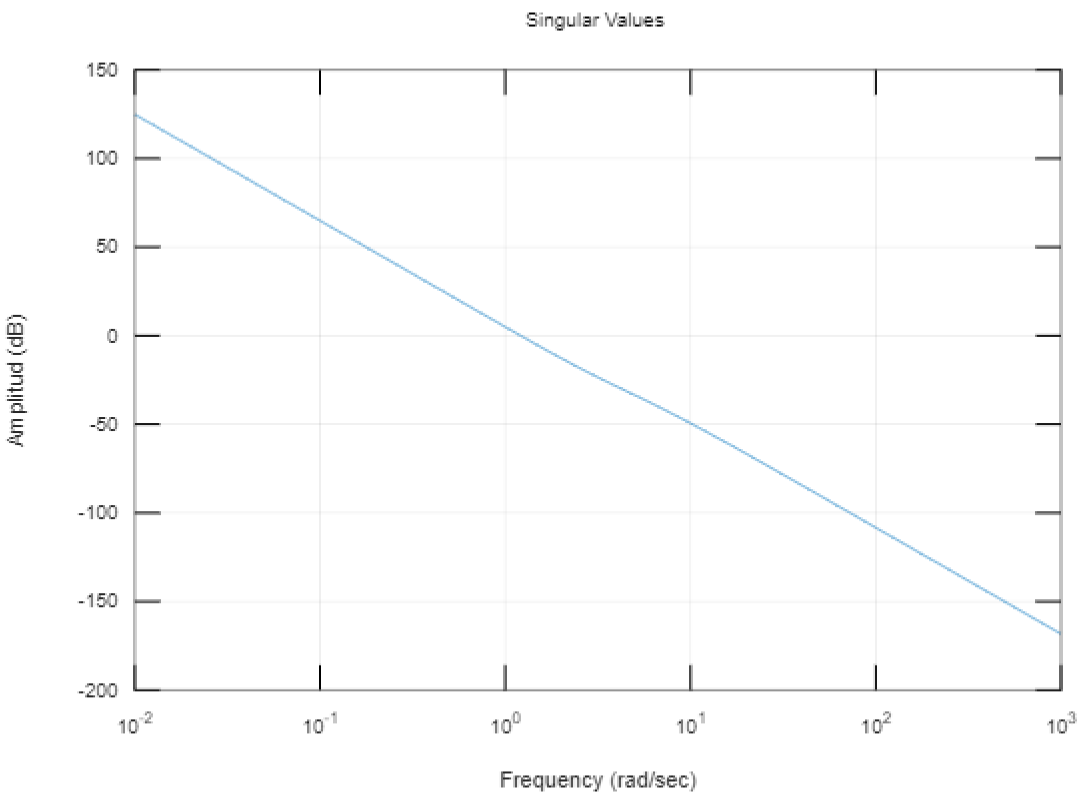


Figura 2: Valores Singulares con planta aumentada

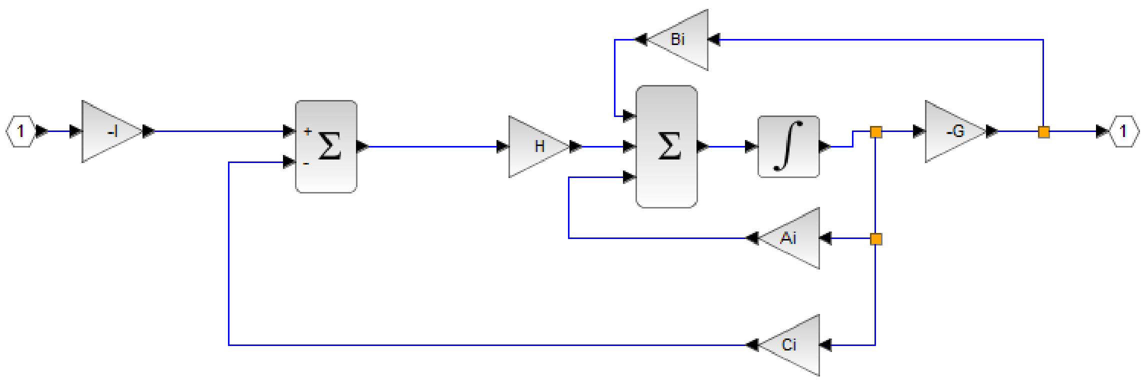
La matriz del observador obtenida es:

```
H =[4.9734     0.4583
    7.4724     2.3625
    0.4583     9.5695
    4.3024    40.8931
    2.7338     1.5894]
```

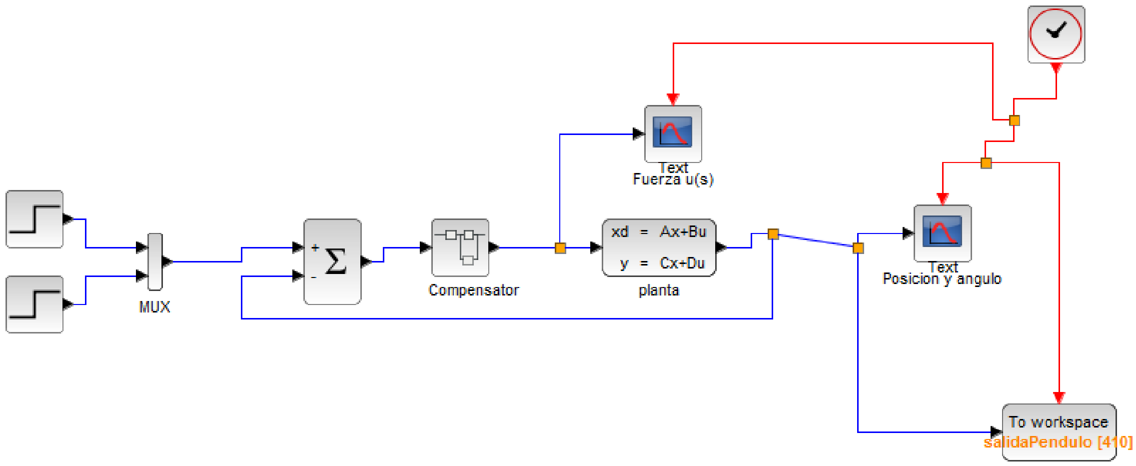
Con el filtro de Kalman los polos obtenidos son:

```
ga1 =[
   4.9734e-02   7.4724e-02   4.5829e-03   4.3024e-02   2.7338e-02
   7.4724e-02   3.3340e-01   2.3625e-02   2.1995e-01   1.4325e-01
   4.5829e-03   2.3625e-02   9.5695e-02   4.0893e-01   1.5894e-02
   4.3024e-02   2.1995e-01   4.0893e-01   2.0439e+00   1.6463e-01
   2.7338e-02   1.4325e-01   1.5894e-02   1.6463e-01   1.3507e-01]
```

3. **Construya el compensador K(s), quiere decir la unión del controlador LQR y el observador. Para reducir el error en régimen permanente, es recomendable que adicione un integrador a las funciones de transferencia del controlador K0(s) = K(s)I/s**



COMPENSADOR



4. Utilizando sus conocimientos de control digital o procesamiento digital de señales, discretice el compensador K0(s) por el método bilineal o el método de Tustin y escriba las ecuaciones de diferencias. Debe considerar el tiempo de muestreo de los sensores. En Scilab existe la función çls2dls"que realiza el proceso de forma automática.

5. Usando Xcos, valide el controlador obteniendo el sistema en lazo cerrado K0(s) y GN(s), donde GN(s) es la planta es lineal. Realice una comparación con el controlador discretizado. Debe asegurarse que la señal de control (fuerza aplicada al carro) este entre los limites físicos permitidos, sino retorne al paso 2 del procedimiento.

6. Implemente las ecuaciones de diferencias en el software de MoDiCA-X (ver ejemplo en anexo). Para lo cuál, su grupo debe coordinar reunión remota de 30 minutos con el alumno Omar Paredes, responsable por el módulo MoDiCA-X. Muestre un vídeo del funcionamiento exitoso de su controlador y grácas de los datos del experimento almacenados en la memoria SD card.
7. Redacte las conclusiones.

IV. CONCLUSIONES

- Se observa que se logro obtener los valores del observador y el filtro de Kalman, obteniendo los polos.

- El tiempo de estabilización depende de la matriz Q, con ello se puede colocar valores de gran tamaño para un tiempo de estabilización pequeño, también considerando la fuerza que se le aplica al sistema al fin de estabilizarlo, por ello se debe tomar los parámetros correctos.

Script 1 : *lqr_pendulo.m*

```
% ---------- Diseño del sistema regulador óptimo cuadrático ----
-----
A=[0 1 0 0;0 0 0.1407 0;0 0 0 1;0 0 19.664 0];
B=[0;1.422;0;2.758];
Q=[1 0 0 0;0 1 0 0;0 0 1 0;0 0 0 1];
R=[1];
[K,P,E]=lqr(A,B,Q,R)
% closed loop systems
sys=ss(A-B*K, eye(4),eye(4),eye(4));
% impulse response at initial condiction
t=0:0.01:8;
x=initial(sys,[1;0;0;0],t);
plot(t,x)
xlabel('Time (s)')
ylabel('Amplitude of x_1, x_2 ,x_3 and x_4')
title('Impulse response with initial conditions [1 0 0 0]^T')
```