

Informe del laboratorio de Control Avanzado

Control de niveles de una planta con cuatro depósitos

Integrantes: Lixiang Dong
Hugo García Tovar
Cristian Gómez Peces
Profesor: Adán Simón

Fecha de realización: 16 de febrero de 2019
Fecha de entrega: 20 de febrero de 2019
Madrid

Resumen

El objetivo del laboratorio de Control Avanzado ha sido elaborar diferentes controles mediante diversas técnicas para conseguir controlar el nivel de cuatro tanques mediante la actuación de dos bombas. En este informe se presentan las cuatro técnicas utilizadas para realizar el control: PID Clásico, PID desacoplado, Control Predictivo y Control Predictivo Adaptativo (gain scheduling). Se analizarán los resultados y los diferentes criterios tomados a la hora de realizar el control. La estructura que sigue el informe se presenta en el índice; primero se describe la planta, las variables a controlar y los mandos sobre los que se actúa. A continuación, los objetivos del control para luego anañizar de forma detallada las estrategias aplicadas a cada unos de los cuatro controles. En este apartado se estudiarán los criterios de diseño y conclusiones, y finalmente se elabora una comparativa de los cuatro controles.

Índice de Contenidos

1. Descripción de la planta	1
1.1. Especificaciones	1
1.2. Modelo no-lineal y puntos de operación	2
2. Objetivos del control	3
2.1. Calidad de respuesta	3
2.2. Minimizar función de coste	4
2.3. Robustez	5
2.4. — NO PARA EL INFORME – Como meter imágenes	6
3. Control PID Clásico	7
Listas y Enumeraciones	7
3.1. Otros	7
4. Control PID desacoplado	8
5. Control predictivo	9
6. Control predictivo adaptativo (gain scheduling)	10
Referencias	11
Anexo A. Código fuente	12

Índice de Figuras

Índice de Tablas

Índice de Códigos

1. Descripción de la planta

La planta que se considera para el diseño de los controles está formada por cuatro tanques idénticos, teniendo dos de ellos colocados encima de los otros dos, de tal forma que los depósitos superiores desaguan sobre los inferiores. A su vez, los dos inferiores descargan agua a un depósito inferior del cual se coge el agua que alimenta a los cuatro tanques mediante dos bombas: A y B. La bomba se encarga de bombear agua a los depósitos 1 y 4, mientras que la bomba B bombea a los tanques 2 y 3. La disposición de la estructura de la planta se muestra en la Figura 1

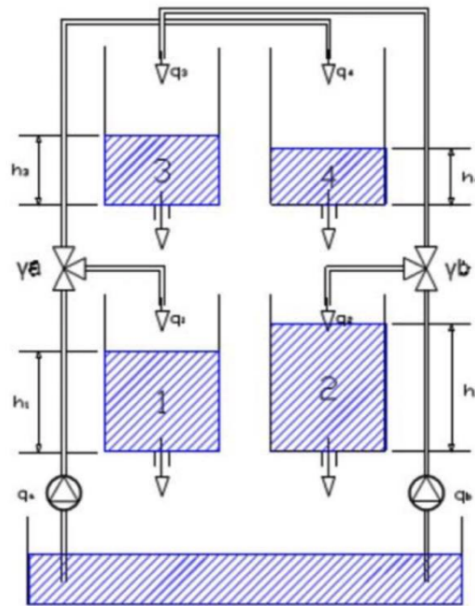


Figura 1: Disposición de tanques.

Las variables a controlar son los niveles de agua en los tanques 1 y 3. Para ello, se tiene dos válvulas de tres vías fijadas (es decir, no controlables) y los tanques A y B, sobre los que se actúa para controlar dichas variables. Hay que tener en cuenta que las bombas también afectarán a los niveles 3 y 4, que a su vez influyen en los niveles que queremos controlar.

1.1. Especificaciones

Para elaborar el modelo de la planta, se necesitan los parámetros que la definen. Los depósitos tienen una sección de 0.03 m^2 . La sección de descarga de los tanques es de $1.3104 \times 10^{-5} \text{ m}^2$, $1.5074 \times 10^{-5} \text{ m}^2$, $9.2673 \times 10^{-5} \text{ m}^2$ y $8.8164 \times 10^{-5} \text{ m}^2$ para los depósitos 1,2,3 y 4 respectivamente. La apertura de las válvulas de tres vías está fijada a 0.2 para la salida de la bomba A y a 0.3 para la bomba B. Esto quiere decir que únicamente el 20 % de lo bombeado por A irá a para al nivel 1 y sólo el 30 % irá al nivel 2. Esto supone un gran problema ya que las variables que queremos controlar son concretamente los niveles 1 y 2, y según la configuración de las válvulas, el resto de

caudal bombeado (80 % y 70 %) se va a los depósitos 3 y 4 respectivamente.

En cuanto a restricciones, se tienen unos márgenes de operación tanto para las salidas como para los mandos. En el caso de las salidas, la altura máxima que se puede alcanzar es de 1,3 m en los tanques 1 y 2, y 1,15 y 1,25 m para los tanques 3 y 4. Los niveles mínimos se establecen a 0,2 metros en los cuatro tanques. El caudal máximo que pueden dar las bombas es de $2,5 \text{ m}^3$ por hora. El tiempo mínimo de muestreo será de 5 segundos en todo control.

1.2. Modelo no-lineal y puntos de operación

Las ecuaciones del sistema que gobiernan la dinámica de los niveles de los tanques se muestra en la Figura 2

$$\begin{aligned} A \frac{dh_1}{dt} &= -a_1 \sqrt{2gh_1(t)} + a_3 \sqrt{2gh_3(t)} + \gamma_a \frac{q_a}{3600} \\ A \frac{dh_2}{dt} &= -a_2 \sqrt{2gh_2(t)} + a_4 \sqrt{2gh_4(t)} + \gamma_b \frac{q_b}{3600} \\ A \frac{dh_3}{dt} &= -a_3 \sqrt{2gh_3(t)} + (1 - \gamma_b) \frac{q_b}{3600} \\ A \frac{dh_4}{dt} &= -a_4 \sqrt{2gh_4(t)} + (1 - \gamma_a) \frac{q_a}{3600} \end{aligned}$$

Figura 2: Dinámica del sistema: ecuaciones de estado.

Como se puede observar, se trata de un sistema no-lineal al incorporar raíces cuadradas de las variables de estado. Para todos los controles que se van a desarrollar, se necesita un modelo linealizado en algún punto de operación. Estos puntos de operación se caracterizando por tener derivadas nulas de las variables de estado. En la Tabla 1 se presentan los puntos de operación tomados para realizar los controles, tanto PID como predictivos.

Tabla 1: Puntos de operación.

Punto	Precio	h1	h2	h3	h4	Caudal A	Caudal B
1	$c = 1.5, p = 25$	0.7	0.35	1.1142	0.2873	0.9419	2.2284
2	$c = 1, p = 10$	0.7	0.65	0.9174	0.8968	1.6641	2.022
3	$c = 0.5, p = 20$	0.7	0.65	0.4025	1.1939	1.9202	1.3393
4	$c = 1, p = 50$	0.4	0.35	0.5361	0.4647	1.1979	1.5457
PID		0.4	0.35	0.5361	0.4647	1.1979	1.5457

En cada punto de operación se obtiene una planta linealizada distinta que es la que usa para obtener el control, ya sea PID o predictivo. En el caso del predictivo, también se han añadido los pesos establecidos para los puntos de operación. Cuanto mayor sean, el error de seguimiento disminuye provocando un sistema más lento, mientras que con la disminución de pesos se obtiene una respuesta mucho más agresiva y un sistema más rápido.

2. Objetivos del control

2.1. Calidad de respuesta



Figura 3: Apolo flotando a la izquierda.

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Proin sit amet augue. Praesent lacus. Donec a leo. Ut turpis ante, condimentum sed, sagittis a, blandit sit amet, enim. Integer sed elit. In ultricies blandit libero. Proin molestie erat dignissim nulla convallis ultrices. Aliquam in magna. Etiam sollicitudin, eros a sagittis pellentesque, lacus odio volutpat elit, vel tincidunt felis dui vitae lorem. Etiam leo. Nulla et justo.

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

$$\int_a^b f(x) dx = \frac{\partial^\eta f(x)}{\partial x^\eta} \cdot \sum_{x=a}^b f(x) (1 + \Delta x)^{1 + \frac{\epsilon}{k}} \quad (1)$$

Ecuación sin sentido.

Proin sit amet augue. Praesent lacus. Donec a leo. Ut turpis ante, condimentum sed, sagittis a, blandit sit amet, enim. Integer sed elit. In ultricies blandit libero. Proin molestie erat dignissim nulla convallis ultrices. Aliquam in magna. Etiam sollicitudin, eros a sagittis pellentesque, lacus odio volutpat elit, vel tincidunt felis dui vitae lorem. Etiam leo. Nulla et justo.

Quisque ullamcorper placerat ipsum. Cras nibh. Morbi vel justo vitae lacus tincidunt ultrices. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. In hac habitasse platea dictumst. Integer tempus convallis augue. Etiam facilisis. Nunc elementum fermentum wisi. Aenean placerat. Ut imperdiet, enim sed gravida sollicitudin, felis odio placerat quam, ac pulvinar elit purus eget enim. Nunc vitae tortor. Proin tempus nibh sit amet nisl. Vivamus quis tortor vitae risus porta vehicula.

2.2. Minimizar función de coste

Sed commodo posuere pede. Mauris ut est. Ut quis purus. Sed ac odio. Sed vehicula hendrerit sem. Duis non odio. Morbi ut dui. Sed accumsan risus eget odio. In hac habitasse platea dictumst. Pellentesque non elit. Fusce sed justo eu urna porta tincidunt. Mauris felis odio, sollicitudin sed, volutpat a, ornare ac, erat. Morbi quis dolor. Donec pellentesque, erat ac sagittis semper, nunc dui lobortis purus, quis congue purus metus ultricies tellus. Proin et quam. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos hymenaeos. Praesent sapien turpis, fermentum vel, eleifend faucibus, vehicula eu, lacus.

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

$$\Lambda_f = \frac{L \cdot f}{W} \cdot \frac{Q_e^2}{8\pi^2 W^4 g} + \sum_{i=1}^l \frac{f \cdot (M - d)}{l \cdot W} \cdot \frac{(Q_e - i \cdot Q)^2}{8\pi^2 W^4 g} \quad (2)$$

$$Q_e = 2.5Q \cdot \int_0^e V(x) dx + \sin^{-1} \left(1 + \frac{1}{1 - e} \right)$$

Quisque ullamcorper placerat ipsum. Cras nibh. Morbi vel justo vitae lacus tincidunt ultrices. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. In hac habitasse platea dictumst. Integer tempus convallis augue. Etiam facilisis. Nunc elementum fermentum wisi. Aenean placerat. Ut imperdiet, enim sed gravida sollicitudin, felis odio placerat quam, ac pulvinar elit purus eget enim. Nunc vitae tortor. Proin tempus nibh sit amet nisl. Vivamus quis tortor vitae risus porta vehicula.

Quisque ullamcorper placerat ipsum. Cras nibh. Morbi vel justo vitae lacus tincidunt ultrices. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. In hac habitasse platea dictumst. Integer tempus convallis augue. Etiam facilisis. Nunc elementum fermentum wisi. Aenean placerat. Ut imperdiet, enim sed gravida sollicitudin, felis odio placerat quam, ac pulvinar elit purus eget enim. Nunc vitae tortor. Proin tempus nibh sit amet nisl. Vivamus quis tortor vitae risus porta vehicula.

$$\boxed{f(x) = \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}} \quad (3)$$

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut,

placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

2.3. Robustez

El template permite la inserción de los siguientes lenguajes de programación de forma nativa: `bash`, `C`, `C#`, `C++`, `cuda`, `DOCKER`, `HTML5`, `Java`, `Javascript`, `JSON`, `Kotlin`, `LaTeX`, `Matlab`, `OpenCL`, `OpenSees`, `Perl`, `PHP`, `Texto plano`, `Pseudocódigo`, `Python`, `Ruby`, `Scala`, `SQL`, `TCL` y `XML`. Para insertar un código fuente se debe usar el entorno `sourcecode`, o el entorno `sourcecodep` si es que se quiere utilizar parámetros adicionales.

A continuación se presenta un ejemplo de inserción de código fuente en Python (Código 1), Java (Código 2) y Matlab (Código 3):

Código 1: Ejemplo en Python.

```
1 import numpy as np
2
3 def incmatrix(genl1, genl2):
4     m = len(genl1)
5     n = len(genl2)
6     M = None # Comentario 1
7     VT = np.zeros((n*m, 1), int) # Comentario 2
```

Código 2: Ejemplo en Java.

```
1 import java.io.IOException;
2 import javax.servlet.*;
3
4 // Hola mundo
5 public class Hola extends GenericServlet {
6     public void service(ServletRequest request, ServletResponse response)
7         throws ServletException, IOException{
8         response.setContentType("text/html");
9         PrintWriter pw = response.getWriter();
10        pw.println("Hola, mundo!");
11        pw.close();
12    }
13 }
```

Código 3: Ejemplo en Matlab.

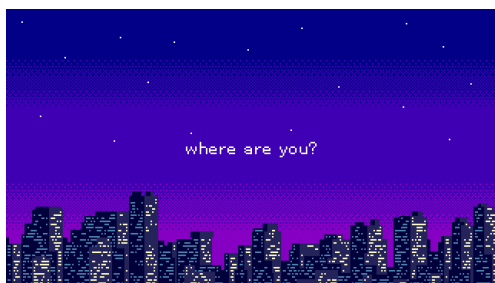
```
1 % Se crea gráfico
2 f = figure(1); hold on;
3 movegui(f, 'center');
4 xlabel('td/Tn'); ylabel('FAD=Umax/Uf0');
5 title('Espectro de pulso de desplazamiento');
6
7 for j = 1:length(BETA)
8     fad = ones(1, NDATOS); % Arreglo para el FAD
9     for i = 1:NDATOS
10        [t, u_t, ~, ~] = main(BETA(j), r(i), M, K, F0, 0);
11        fad(i) = max(abs(u_t)) / uf0;
12    end
13 end
```


2.4. — NO PARA EL INFORME – Como meter imágenes

El template ofrece el entorno **images** que permite insertar múltiples imágenes de una manera muy sencilla¹. Para crear imágenes múltiples se deben usar las siguientes instrucciones:

```
1 \begin{images}[\label{imagenmultiple}]{Ejemplo de imagen múltiple.}
2   \addimage{ejemplos/test-image}{width=6.5cm}{Ciudad.}
3   \addimage{ejemplos/test-image-wrap}{width=5cm}{Apolo.}
4   \imagesnewline
5   \addimage{ejemplos/test-image}{width=12cm}{Ciudad más grande.}
6 \end{images}
```

Obteniendo así:



(a) Ciudad.



(b) Apolo.



(c) Ciudad más grande.

Figura 4: Ejemplo de imagen múltiple.

¹ Desde la versión 6.0.0 no se da soporte a las funciones de inserción de imágenes múltiples `\insertdoubleimage`, `\insertdoubleeqimage`, `\inserttripleimage`, `\inserttripleeqimage`, `\insertquadimage`, `\insertpentaimage` y `\inserthexaimage`.

3. Control PID Clásico

Listas y Enumeraciones

Hacer listas enumeradas con L^AT_EX es muy fácil con el template², para ello debes usar el comando `\begin{enumerate}`, cada elemento comienza por `\item`, resultando así:

1. Grecia
2. Abracadabra
3. Manzanas

También se puede cambiar el tipo de enumeración, se pueden usar letras, números romanos, entre otros. Esto se logra cambiando el **label** del objeto `enumerate`. A continuación se muestra un ejemplo usando letras con el estilo `\alph`³, números romanos con `\roman`⁴ o números griegos con `\greek`⁵:

- | | | |
|-------------|------------------------|-------------|
| a) Peras | α) Matemáticas | i) Rojo |
| b) Manzanas | β) Lenguaje | ii) Café |
| c) Naranjas | γ) Filosofía | iii) Morado |

Para hacer listas sin numerar con L^AT_EX hay que usar el comando `\begin{itemize}`, cada elemento empieza por `\item`, resultando:

- | | | |
|------------|----------|-----------|
| – Peras | * Rojo | ▪ Árboles |
| – Manzanas | * Café | ▪ Pasto |
| – Naranjas | * Morado | ▪ Flores |

3.1. Otros

Recuerda revisar el manual de todas las funciones y configuraciones de este template visitando el siguiente link: <https://latex.pizarro.com/Template-Informe/>. Si necesitas una ayuda muy específica sobre el template, o si tienes alguna sugerencia, me puedes enviar un correo a pablo.pizarro@ing.uchile.cl.

² También puedes revisar el manual de las enumeraciones en <http://www.texnia.com/archive/enumitem.pdf>.

³ Con `\Alph` las letras aparecen en mayúscula.

⁴ Con `\Roman` los números romanos salen en mayúscula.

⁵ Una característica propia del template, con `\Greek` las letras griegas están escritas en mayúscula.

4. Control PID desacoplado

5. Control predictivo

6. Control predictivo adaptativo (gain scheduling)

Referencias

- [1] Motivación del Control Avanzado. *Ramón Rodríguez Pecharromán, Juan L. Zamora Macho y Aurelio García Cerrada. Enero 2017. Universidad Pontificia Comillas*
https://sifo.comillas.edu/pluginfile.php/2234565/mod_resource/content/7/1.%20Motivaci%C3%B3n%20del%20Control%20Avanzado.pdf
- [2] Control PID Avanzado. *Ramón Rodríguez Pecharromán, Juan L. Zamora Macho y Aurelio García Cerrada. Enero 2017. Universidad Pontificia Comillas*
https://sifo.comillas.edu/pluginfile.php/2234566/mod_resource/content/8/2.%20Control%20PID%20avanzado.pdf
- [3] Control Sistemas MIMO. *Ramón Rodríguez Pecharromán, Juan L. Zamora Macho y Aurelio García Cerrada. Enero 2018. Universidad Pontificia Comillas*
https://sifo.comillas.edu/pluginfile.php/2234567/mod_resource/content/1/3_Control_Sistemas_MIMO.pdf
- [4] Control predictivo basado en modelo. *Ramón Rodríguez Pecharromán, Juan L. Zamora Macho y Aurelio García Cerrada. Enero 2017. Universidad Pontificia Comillas*
https://sifo.comillas.edu/pluginfile.php/2234568/mod_resource/content/5/4.%20Control%20predictivo.pdf
- [5] Control Adaptativo. *Ramón Rodríguez Pecharromán, Juan L. Zamora Macho y Aurelio García Cerrada. Enero 2017. Universidad Pontificia Comillas*
https://sifo.comillas.edu/pluginfile.php/2234569/mod_resource/content/2/5.%20Control%20Adaptativo.pdf

Anexo A. Código fuente

Código A.1: Código fuente de Matlab utilizado para los cuatro controles

```

1
2
3 if exist('MPC_4TANQUES_CONTROL','var')>0
4     save MPC_4TANQUES_CONTROL MPC_4TANQUES_CONTROL
5 end
6 if exist('MPC_4TANQUES_CONTROL_1_1','var')>0
7     save MPC_4TANQUES_CONTROL_1_1 MPC_4TANQUES_CONTROL_1_1
8     save MPC_4TANQUES_CONTROL_1_2 MPC_4TANQUES_CONTROL_1_2
9     save MPC_4TANQUES_CONTROL_1_3 MPC_4TANQUES_CONTROL_1_3
10    save MPC_4TANQUES_CONTROL_1_4 MPC_4TANQUES_CONTROL_1_4
11 end
12 clc
13 clear
14 close all
15 %%%%%%%%%%%%%%%
16 %%% MODELO 4 TANQUES %%%
17 %%%%%%%%%%%%%%%
18 s=tf('s');
19 ts=5;
20 z=tf('z',ts);
21
22 %_____
23 %% OPCIONES DE SIMULACION Y VISUALIZACION
24 %_____
25 % Tipo de ensayo
26 % 0. Ensayo con amplitudes pequeñas en los escalones en referencias
27 % 1. Ensayo con amplitudes grandes en los escalones en referencias
28 tipo_ensayo=1;
29
30 % Cantidad de controles que se quieren visualizar:
31 % 1.- PID descentralizado
32 % 2.- PID con desacoplo
33 % 3.- MPC
34 % 4.- MPC adaptativo
35 visualizar = 1;
36
37 % Lista de leyendas en las graficas
38 listaLeyendas = {'Control PID sin desacoplo','PID con desacoplo','MPC','MPC adaptativo','
    ↪ Referencia'};
39
40 %Ajustes. NO MODIFICAR
41 if tipo_ensayo == 0 %i'NO TOCAR ESTO!!!
42     ampliEsc = [1 1]*0.05;
43 else
44     ampliEsc = [1 1]*0.3;
45 end
46 %tiempo de duración de los pulsos

```

```

47 tEsc = 1500;
48
49 %pesos costes ensayo
50 pondQ = [1.5 1 0.5 1];
51 pondS = [25 10 20 50];
52 pondR = [100 100 100 100];
53
54 %_____
55 %% PARAMETROS DEL SISTEMA.
56 %_____
57 % Parametros (inspirado en Luyben_1996)
58 % Seccion de los depositos (m^2)
59 A=0.03;
60 % Seccion equivalente de los orificios de descarga (m^2)
61 a1=1.3104e-4;
62 a2=1.5074e-4;
63 a3=9.2673e-5;
64 a4=8.8164e-5;
65 % Apertura de las válvulas de 3 vias (m^3)
66 ga=0.2;
67 gb=0.3;
68 % Vector de parametros
69 param=[A a1 a2 a3 a4 ga gb];
70 % Limitacion de los mandos (caudales)
71 mando_max=2.5;
72 mando_min=0;
73 % Limitacion de los niveles
74 Hmax=[1.3 1.3 1.15 1.25];
75 Hmin=[0.2 0.2 0.2 0.2];
76
77 %_____
78 %% PUNTOS DE OPERACIÓN
79 %_____
80 % Se definen en base a un ensayo con dos pulsos decalados en el tiempo en
81 % las referencias de h1 y h2. La amplitud del escalón dependerá del tipo de
82 % ensayo.
83 ptoBase = [0.4 0.35];
84 % Se definen h1 y h2 de los cuatro puntos de operación del ensayo
85 Xini_1=[ptoBase(1)+ampliEsc(1) ptoBase(2) 1 1]; %Pto 1: h1 alta, h2 baja
86 Xini_2=[ptoBase(1)+ampliEsc(1) ptoBase(2)+ampliEsc(2) 1 1]; %Pto 2: h1 alta, h2 alta
87 Xini_3=[ptoBase(1) ptoBase(2)+ampliEsc(2) 1 1]; %Pto 3: h1 baja, h2 alta
88 Xini_4=[ptoBase(1) ptoBase(2) 1 1]; %Pto 4: h1 baja, h2 baja
89 %Se elige el punto de operación para el modelo de los controles PID
90 % (por defecto, el punto de comienzo y final del ensayo)
91 selecPtoOp = 4;
92 switch selecPtoOp
93     case 1
94         Xini=Xini_1;
95     case 2
96         Xini=Xini_2;
97     case 3
98         Xini=Xini_3;

```



```

99     case 4
100         Xini=Xini_4;
101     otherwise
102         Xini=Xini_4;
103         disp('Selección de punto de operación no válida. Se ha asignado el punto de operación por
            ↪ defecto')
104 end
105 %Para modelo de Simulink
106 matRefs = [Xini_1;Xini_2;Xini_3;Xini_4];
107 matRefs = matRefs(:,1:2);
108
109 % Obtención de los modelos linealizados del sistema. Primero el punto
110 % seleccionado para el modelo de los controles PID descentralizados y PID
111 % desacoplados.
112
113 % Comando 'trim': Se obtienen el resto de estados y las entradas
114 % relacionados con el punto de operación expresado en h1, h2.
115 Uini=[1 1]';
116 Yini = ones(4,1);
117 % Valores fijados
118 IUini=[];
119 IXini=[1 2];
120 IYini=[];
121 [Xpo,Upo,Ypo,DXpo]=trim('Modelo_4tanques',Xini(:),Uini(:),Yini(:),IXini(:),IUini(:),IYini(:));
122 disp('Punto de operación:')
123 disp('lqao qbol =')
124 disp(Upo')
125 disp('h1o h2o h3o h4o =')
126 disp(Xpo')
127
128 %Ahora se hace lo mismo para el resto de puntos de operación, lo cual será
129 %útil para los controles predictivo y predictivo adaptativo
130 [Xpo_1,Upo_1]=trim('Modelo_4tanques',Xini_1(:),Uini(:),Yini(:),IXini(:),IUini(:),IYini(:));
131 [Xpo_2,Upo_2]=trim('Modelo_4tanques',Xini_2(:),Uini(:),Yini(:),IXini(:),IUini(:),IYini(:));
132 [Xpo_3,Upo_3]=trim('Modelo_4tanques',Xini_3(:),Uini(:),Yini(:),IXini(:),IUini(:),IYini(:));
133 [Xpo_4,Upo_4]=trim('Modelo_4tanques',Xini_4(:),Uini(:),Yini(:),IXini(:),IUini(:),IYini(:));
134
135
136 %_____
137 %% MODELOS LINEALIZADOS
138 %_____
139 % Linealización del punto PIDs
140 [matA,matB,matC,matD]=linmod('Modelo_4tanques',Xpo,Upo);
141 Pss=ss(matA,matB,matC,matD);
142 Pzpk=zpk(Pss);
143 % Planta qa => h1
144 P1a=Pzpk(1,1);
145 P1a.DisplayFormat='time constant';
146 % Planta qb => h1
147 P1b=Pzpk(1,2);
148 P1b.DisplayFormat='time constant';
149 % Planta qa => h2

```

```

150 P2a=Pzpk(2,1);
151 P2a.DisplayFormat='time constant';
152 % Planta qb => h2
153 P2b=Pzpk(2,2);
154 P2b.DisplayFormat='time constant';
155 %Display de la matriz Planta y de la matriz RGA
156 disp('Funciones de transferencia de la planta:')
157 Planta=[P1a P1b ; P2a P2b]
158 RGA=dcgain(Planta).*(dcgain(inv(Planta)))'
159 %Conversión a tf para integridad del GUI
160 P2a = tf(P2a);
161 P1b = tf(P1b);
162
163 %Linealización de los puntos de los predictivos
164 %Previo: definiciones para MPC designer
165 TimeUnit='seconds';
166 InputName={'qa','qb'};
167 InputUnit={'m3/h','m3/h'};
168 OutputName={'h1','h2','h3','h4'};
169 OutputUnit={'m','m','m','m'};
170 StateName={'h1','h2','h3','h4'};
171 %%%%%%%%%%%
172 %Linealización Pto 1: h1 alta, h2 baja
173 [matA,matB,matC,matD]=linmod('Modelo_4tanques',Xpo_1,Upo_1);
174 Pss_1=ss(matA,matB,matC,matD);
175 Ptf_1=tf(Pss_1);
176 Pssd=c2d(Pss_1,ts);
177 matAd_1=Pssd.a;
178 matBd_1=Pssd.b;
179 matCd=Pssd.c;
180 matCd_1=matCd(1:2,:);
181 matDd=Pssd.d;
182 matDd_1=matDd(1:2,:);
183 % Entradas y salidas
184 P_1_mpc=ss(Pss_1.a,Pss_1.b,eye(4),zeros(4,2),'TimeUnit',TimeUnit);
185 P_1_mpc.InputName = InputName;
186 P_1_mpc.StateName = StateName;
187 P_1_mpc.OutputName = OutputName;
188 P_1_mpc.InputGroup.MV = 1:2;
189 P_1_mpc.InputGroup.UD = [];
190 P_1_mpc.OutputGroup.MO = 1:4;
191 P_1_mpc.OutputGroup.UO = [];
192
193 %%%%%%%%%%%
194 %Linealización Pto 2: h1 alta, h2 alta
195 [matA,matB,matC,matD]=linmod('Modelo_4tanques',Xpo_2,Upo_2);
196 Pss_2=ss(matA,matB,matC,matD);
197 Ptf_2=tf(Pss_2);
198 Pssd=c2d(Pss_2,ts);
199 matAd_2=Pssd.a;
200 matBd_2=Pssd.b;
201 matCd=Pssd.c;

```

```

202 matCd_2=matCd(1:2,:);
203 matDd=Pssd.d;
204 matDd_2=matDd(1:2,:);
205 % Entradas y salidas
206 P_2_mpc=ss(Pss_2.a,Pss_2.b,eye(4),zeros(4,2),'TimeUnit',TimeUnit);
207 P_2_mpc.InputName = InputName;
208 P_2_mpc.StateName = StateName;
209 P_2_mpc.OutputName = OutputName;
210 P_2_mpc.InputGroup.MV = 1:2;
211 P_2_mpc.InputGroup.UD = [];
212 P_2_mpc.OutputGroup.MO = 1:4;
213 P_2_mpc.OutputGroup.UO = [];
214
215 %%%%%%%%%%%%%%%
216 %Linealización Pto 3: h1 baja, h2 alta
217 [matA,matB,matC,matD]=linmod('Modelo_4tanques',Xpo_3,Upo_3);
218 Pss_3=ss(matA,matB,matC,matD);
219 Ptf_3=tf(Pss_3);
220 Pssd=c2d(Pss_3,ts);
221 matAd_3=Pssd.a;
222 matBd_3=Pssd.b;
223 matCd=Pssd.c;
224 matCd_3=matCd(1:2,:);
225 matDd=Pssd.d;
226 matDd_3=matDd(1:2,:);
227 % Entradas y salidas
228 P_3_mpc=ss(Pss_3.a,Pss_3.b,eye(4),zeros(4,2),'TimeUnit',TimeUnit);
229 P_3_mpc.InputName = InputName;
230 P_3_mpc.StateName = StateName;
231 P_3_mpc.OutputName = OutputName;
232 P_3_mpc.InputGroup.MV = 1:2;
233 P_3_mpc.InputGroup.UD = [];
234 P_3_mpc.OutputGroup.MO = 1:4;
235 P_3_mpc.OutputGroup.UO = [];
236
237 %%%%%%%%%%%%%%%
238 %Linealización Pto 3: h1 baja, h2 baja
239 [matA,matB,matC,matD]=linmod('Modelo_4tanques',Xpo_4,Upo_4);
240 Pss_4=ss(matA,matB,matC,matD);
241 Ptf_4=tf(Pss_4);
242 Pssd=c2d(Pss_4,ts);
243 matAd_4=Pssd.a;
244 matBd_4=Pssd.b;
245 matCd=Pssd.c;
246 matCd_4=matCd(1:2,:);
247 matDd=Pssd.d;
248 matDd_4=matDd(1:2,:);
249 % Entradas y salidas
250 P_4_mpc=ss(Pss_4.a,Pss_4.b,eye(4),zeros(4,2),'TimeUnit',TimeUnit);
251 P_4_mpc.InputName = InputName;
252 P_4_mpc.StateName = StateName;
253 P_4_mpc.OutputName = OutputName;

```

```

254 P_4_mpc.InputGroup.MV = 1:2;
255 P_4_mpc.InputGroup.UD = [];
256 P_4_mpc.OutputGroup.MO = 1:4;
257 P_4_mpc.OutputGroup.UO = [];
258
259
260
261 %
262 %% CONTROL PID DESCENTRALIZADO
263 %
264 % Control PID qb -> h1 (PID accion diferencial al error)
265 K_h1=0.5;
266 Ti_h1=inf;
267 Td_h1=0;
268 N_h1=1;
269 b_h1=1;
270 % Control PID qa -> h2 (PID accion diferencial al error)
271 K_h2=0.5;
272 Ti_h2=inf;
273 Td_h2=0;
274 N_h2=1;
275 b_h2=1;
276
277 %
278 %% CONTROL PID CON DESACOPLO POR PREALIMENTACION
279 %
280 %Previo a la definición de los parámetros del controlador: Diseño del
281 %desacoplo (matriz de transferencia y red de desacoplo)
282 disp('CONTROL PID CON DESACOPLO POR PREALIMENTACION')
283 % Ceros de transmision de la planta
284 ceros=tzero(Planta);
285 % Se determinan los ceros de transmision positivos
286 auxTanques=(ceros>=0);
287 ceros_pos=ceros(auxTanques);
288 % DESACOPLO ESTATICO POR PREALIMENTACION
289 Planta_hat=minreal(zpk(Planta/dcgain(Planta)));
290 Planta_hat.DisplayFormat='time constant';
291 % D0=inv(dcgain(Planta));
292 % Da1=tf(D0(1,1),1);
293 % Da2=tf(D0(1,2),1);
294 % Db1=tf(D0(1,2),1);
295 % Db2=tf(D0(2,2),1);
296 % DESACOPLO DINAMICO POR PREALIMENTACION
297 % Funcion de transferencia con los ceros positivos
298 if isempty(ceros_pos)
299     Pzp=1;
300 else
301     Pzp=zpk(ceros_pos,[],1);
302     Pzp=Pzp/dcgain(Pzp);
303     Pzp.DisplayFormat='time constant';
304 end
305 [num1a,den1a]=tfdata(P1a,'v');

```

```

306 [num1b,den1b]=tfdata(P1b,'v');
307 [num2a,den2a]=tfdata(P2a,'v');
308 [num2b,den2b]=tfdata(P2b,'v');
309 aux11=minreal(tf(P1a+P1b));
310 aux22=minreal(tf(P2a+P2b));
311 matM11=minreal(tf(1,aux11.den{1})*Pzp);
312 matM22=minreal(tf(1,aux22.den{1})*Pzp);
313 matM=zpk([matM11/dcgain(matM11) 0 ; 0 matM22/dcgain(matM22)]);
314 matN=zpk([minreal(P1a/matM(1,1)) minreal(P1b/matM(1,1)) ; ...
315     minreal(P2a/matM(2,2)) minreal(P2b/matM(2,2))]);
316 matM.DisplayFormat='time constant';
317 matN.DisplayFormat='time constant';
318 matNinv=minreal(inv(matN));
319 %Display de la matriz del sistema desacoplado
320 disp('Planta desacoplada:')
321 matM
322 matM = tf(matM);
323 % Discretizacion de la red de desacoplo
324 disp('Red de desacoplo:')
325 % matNinv
326 matNinvd=c2d(matNinv,ts);
327 Da1=tf(matNinvd(1,1));
328 Da2=tf(matNinvd(1,2));
329 Db1=tf(matNinvd(2,1));
330 Db2=tf(matNinvd(2,2));
331
332 %%%%%%%%%%%
333 % CONTROLES DESACOPLADOS
334 % Control PID u1 -> h1 (PID accion diferencial a la salida)
335 K_h1_des=0.5;
336 Ti_h1_des=inf;
337 Td_h1_des=0;
338 N_h1_des=1;
339 b_h1_des=1;
340 % Control PID u2 -> h2 (PID accion diferencial a la salida)
341 K_h2_des=0.5;
342 Ti_h2_des=inf;
343 Td_h2_des=0;
344 N_h2_des=1;
345 b_h2_des=1;
346
347 %
348 %% CONTROL PREDICTIVO Y PREDICTIVO ADAPTATIVO
349 %
350
351 %CARGAR EL/LOS .mat EN LOS QUE SE HAYAN EXPORTADO LOS CONTROLADORES
352 %PREDICTIVOS DISEÑADOS CON mpctool. El nombre del objeto de tipo
353 %'controlador predictivo' que aparezca en el workspace tras la carga del
354 %.mat tiene que coincidir con el nombre incluido en el bloque de control
355 %predictivo del modelo de Simulink.
356
357 load MPC_4TANQUES_CONTROL

```

```

358 load MPC_4TANQUES_CONTROL_1_1
359 load MPC_4TANQUES_CONTROL_1_2
360 load MPC_4TANQUES_CONTROL_1_3
361 load MPC_4TANQUES_CONTROL_1_4
362
363
364
365 %_____
366 %% SIMULACION
367 %_____
368
369 % Tiempo de llenado inicial
370 t_ini = 3000;
371 T=tEsc;
372 % Secuencia de cambios en referencia
373 t_ref=[0 t_ini-ts t_ini t_ini+tEsc-ts t_ini+tEsc t_ini+tEsc*2-ts t_ini+tEsc*2 t_ini+tEsc*3-ts
        ↪ t_ini+tEsc*3 t_ini+tEsc*4];
374 % Tiempo final de simulacion
375 t_fin=t_ini+tEsc*4-ts;
376 % Referencias
377 h1_ref=[Xpo_4(1) Xpo_4(1) Xpo_1(1) Xpo_1(1) Xpo_2(1) Xpo_2(1) Xpo_3(1) Xpo_3(1) Xpo_4
        ↪ (1) Xpo_4(1)];
378 h2_ref=[Xpo_4(2) Xpo_4(2) Xpo_1(2) Xpo_1(2) Xpo_2(2) Xpo_2(2) Xpo_3(2) Xpo_3(2) Xpo_4
        ↪ (2) Xpo_4(2)];
379 % load categorial
380 Tsim = t_fin+ts;
381 Tini = t_ini;
382 % Simulacion
383 sim('Control_4tanques_SIM_Simplificado')
384
385 %_____
386 %% REPRESENTACION GRAFICA
387 %_____
388 tamTitulos = 21;
389 tamEtiqu = 16;
390 tamEjes = 12;
391 ctrlEjes = 1;
392 maxNiveles = Hmax;
393 minNiveles = Hmin;
394 limSupH = max(maxNiveles);
395 limInfH = min(minNiveles);
396
397 %Figura variables controladas / mandos
398 figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1])
399 subplot(221)
400 plot(H1(:,1),H1(:,2:1+visualizar 6) ,'LineWidth',2)
401 grid
402 ylabel('Salida h1 (m) y referencia (m)', 'fontsize', tamEtiqu, 'fontweight', 'b')
403 xlim([0 Tsim])
404 xlabel('Tiempo (s)', 'fontsize', tamEtiqu, 'fontweight', 'b')
405 legend(listaLeyendas{1:visualizar}, listaLeyendas{5}, 'Location', 'best');
406 set(gca, 'fontsize', tamEjes, 'fontweight', 'b')

```

```

407 xlim([t_ini-500 H1(end,1)])
408 ejes(ctrEjes)=gca;
409 ctrEjes = ctrEjes + 1;
410
411 subplot(222)
412 plot(H2(:,1),H2(:,2:1+visualizar 6)), 'LineWidth',2)
413 grid
414 ylabel('Salida h2 (m) y referencia (m)', 'fontsize', tamEtiqu, 'fontweight', 'b')
415 xlabel('Tiempo (s)', 'fontsize', tamEtiqu, 'fontweight', 'b')
416 xlim([0 Tsim])
417 legend(listaLeyendas{1:visualizar}, listaLeyendas{5}, 'Location', 'best');
418 set(gca, 'fontsize', tamEjes, 'fontweight', 'b')
419 ejes(ctrEjes)=gca;
420 ctrEjes = ctrEjes + 1;
421
422 subplot(223)
423 plot(Qa(:,1),Qa(:,2:1+visualizar), 'LineWidth',2)
424 grid
425 ylabel('mando qa (m3/h)', 'fontsize', tamEtiqu, 'fontweight', 'b')
426 xlabel('Tiempo (s)', 'fontsize', tamEtiqu, 'fontweight', 'b')
427 xlim([0 Tsim])
428 legend(listaLeyendas{1:visualizar}, 'Location', 'best');
429 set(gca, 'fontsize', tamEjes, 'fontweight', 'b')
430 ejes(ctrEjes)=gca;
431 ctrEjes = ctrEjes + 1;
432
433 subplot(224)
434 plot(Qb(:,1),Qb(:,2:1+visualizar), 'LineWidth',2)
435 grid
436 ylabel('mando qb (m3/h)', 'fontsize', tamEtiqu, 'fontweight', 'b')
437 xlabel('Tiempo (s)', 'fontsize', tamEtiqu, 'fontweight', 'b')
438 xlim([0 Tsim])
439 legend(listaLeyendas{1:visualizar}, 'Location', 'best');
440 set(gca, 'fontsize', tamEjes, 'fontweight', 'b')
441 ejes(ctrEjes)=gca;
442 ctrEjes = ctrEjes + 1;
443
444 if tipo_ensayo>0
445     %Figura con todos los niveles y referencias
446     figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1])
447     subplot(411)
448     plot(H1(:,1),H1(:,2:1+visualizar 6)), 'LineWidth',2)
449     hold on
450     plot([H1(1,1) H1(end,1)], [1 1]*maxNiveles(1), 'r--', 'LineWidth',1)
451     plot([H1(1,1) H1(end,1)], [1 1]*minNiveles(1), 'r--', 'LineWidth',1)
452     grid
453     ylabel('h1 (m)', 'fontsize', tamEtiqu, 'fontweight', 'b')
454     xlabel('Tiempo (s)', 'fontsize', tamEtiqu, 'fontweight', 'b')
455     axis([0 Tsim 0 1.5])
456     legend(listaLeyendas{1:visualizar}, listaLeyendas{5}, 'Restricciones', 'Location', 'best');
457     set(gca, 'fontsize', tamEjes, 'fontweight', 'b')
458     title('Evolución de los niveles en los tanques', 'fontsize', tamTitulos, 'fontweight', 'b')

```

```

459 xlim([t_ini-500 H1(end,1)])
460 ejes(ctrlEjes)=gca;
461 ctrlEjes = ctrlEjes + 1;
462
463 subplot(412)
464 plot(H2(:,1),H2(:,2:1+visualizar 6)),'LineWidth',2)
465 hold on
466 plot([H1(1,1) H1(end,1)],[1 1]*maxNiveles(2),'r--','LineWidth',1)
467 plot([H1(1,1) H1(end,1)],[1 1]*minNiveles(2),'r--','LineWidth',1)
468 grid
469 ylabel('h2 (m)','fontsize',tamEtiqu,'fontweight','b')
470 xlabel('Tiempo (s)','fontsize',tamEtiqu,'fontweight','b')
471 axis([0 Tsim 0 1.5])
472 legend(listaLeyendas{1:visualizar},listaLeyendas{5},'Restricciones','Location','best');
473 set(gca,'fontsize',tamEjes,'fontweight','b')
474 ejes(ctrlEjes)=gca;
475 ctrlEjes = ctrlEjes + 1;
476
477 subplot(413)
478 plot(H3(:,1),H3(:,2:1+visualizar),'LineWidth',2)
479 hold on
480 plot([H1(1,1) H1(end,1)],[1 1]*maxNiveles(3),'r--','LineWidth',1)
481 plot([H1(1,1) H1(end,1)],[1 1]*minNiveles(3),'r--','LineWidth',1)
482 grid
483 ylabel('h3 (m)','fontsize',tamEtiqu,'fontweight','b')
484 xlabel('Tiempo (s)','fontsize',tamEtiqu,'fontweight','b')
485 axis([0 Tsim 0 1.5])
486 legend(listaLeyendas{1:visualizar},'Restricciones','Location','best');
487 set(gca,'fontsize',tamEjes,'fontweight','b')
488 ejes(ctrlEjes)=gca;
489 ctrlEjes = ctrlEjes + 1;
490
491 subplot(414)
492 plot(H4(:,1),H4(:,2:1+visualizar),'LineWidth',2)
493 hold on
494 plot([H1(1,1) H1(end,1)],[1 1]*maxNiveles(4),'r--','LineWidth',1)
495 plot([H1(1,1) H1(end,1)],[1 1]*minNiveles(4),'r--','LineWidth',1)
496 grid
497 ylabel('h4 (m)','fontsize',tamEtiqu,'fontweight','b')
498 xlabel('Tiempo (s)','fontsize',tamEtiqu,'fontweight','b')
499 axis([0 Tsim 0 1.5])
500 legend(listaLeyendas{1:visualizar},'Restricciones','Location','best');
501 set(gca,'fontsize',tamEjes,'fontweight','b')
502 ejes(ctrlEjes)=gca;
503 ctrlEjes = ctrlEjes + 1;
504
505 % Figura índices de desempeño
506 figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1])
507 subplot(211)
508 plot(J(:,1),J(:,2:1+visualizar),'LineWidth',2)
509 grid
510 ylabel('J','fontsize',tamEtiqu,'fontweight','b')

```



```

511 xlabel('Tiempo (s)', 'fontsize', tamEtiqu, 'fontweight', 'b')
512 xlim([0 Tsim])
513 set(gca, 'fontsize', tamEjes, 'fontweight', 'b')
514 legend(listaLeyendas{1:visualizar}, 'Location', 'best');
515 title('Evolución del índice de desempeño', 'fontsize', tamTitulos, 'fontweight', 'b')
516 xlim([t_ini-500 H1(end,1)])
517 ejes(ctrlEjes)=gca;
518 ctrlEjes = ctrlEjes + 1;
519
520 subplot(212)
521 plot(ID(:,1), ID(:,2:1+visualizar), 'LineWidth', 2)
522 grid
523 ylabel('ID', 'fontsize', tamEtiqu, 'fontweight', 'b')
524 xlabel('Tiempo (s)', 'fontsize', tamEtiqu, 'fontweight', 'b')
525 xlim([0 Tsim])
526 set(gca, 'fontsize', tamEjes, 'fontweight', 'b')
527 legend(listaLeyendas{1:visualizar}, 'Location', 'best');
528 title(['Índice de desempeño del concurso: ', num2str(round(ID(end,1+visualizar)))], 'fontsize',
    ↪ tamTitulos, 'fontweight', 'b');
529 ejes(ctrlEjes)=gca;
530 ctrlEjes = ctrlEjes + 1;
531
532 if visualizar == 1
533     JDesglosadas = JDesglosadas_1;
534     JINT = JINT1;
535 elseif visualizar == 2
536     JDesglosadas = JDesglosadas_2;
537     JINT = JINT2;
538 elseif visualizar == 3
539     JDesglosadas = JDesglosadas_3;
540     JINT = JINT3;
541 elseif visualizar == 4
542     JDesglosadas = JDesglosadas_4;
543     JINT = JINT4;
544 end
545
546
547 %Figura costes del predictivo desglosados
548 figure('units', 'normalized', 'outerposition', [0 0 1 1])
549 plot(JDesglosadas(:,1), JDesglosadas(:,2:4), 'LineWidth', 2)
550 grid
551 ylabel('Js concurso CEA', 'fontsize', tamEtiqu, 'fontweight', 'b')
552 xlabel('Tiempo (s)', 'fontsize', tamEtiqu, 'fontweight', 'b')
553 xlim([0 Tsim])
554 set(gca, 'fontsize', tamEjes, 'fontweight', 'b')
555 legend('Coste caudales (Jq)', 'Coste volúmenes (Jv)', 'Coste restricciones (Jr)', 'Location', 'best');
556 xlim([t_ini-500 H1(end,1)])
557 ejes(ctrlEjes)=gca;
558 ctrlEjes = ctrlEjes + 1;
559 linkaxes(ejes, 'x')
560
561 %Figuras con desglose de ID por tramos

```

```

562 %parche para análisis tramo a tramo
563 tramoATramo_Q = zeros(1,4);
564 tramoATramo_Seg = zeros(1,4);
565 tramoATramo_Restr = zeros(1,4);
566 marcasT = t_ref([5 7 9 10]);
567 indTr = NaN(4,2);
568
569 indAnt = find(JDesglosadas(:,1)<marcasT(1)); indTr(1,:) = [1 indAnt(end)];
570 for ctrlTramo = 2:4
571     auxiliar = find(JDesglosadas(:,1)<marcasT(ctrlTramo));
572     indTr(ctrlTramo,:) = [indAnt(end) auxiliar(end)];
573     indAnt = auxiliar;
574 end
575 indTr(end) = indTr(end) + 1;
576 for ctrlTramo = 1:4
577     tramoATramo_Q(ctrlTramo) = diff(JINT(indTr(ctrlTramo,:),2));
578     tramoATramo_Seg(ctrlTramo) = diff(JINT(indTr(ctrlTramo,:),3));
579     tramoATramo_Restr(ctrlTramo) = diff(JINT(indTr(ctrlTramo,:),4));
580 end
581
582 figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1])
583 bar(tramoATramo_Q)
584 grid
585 title('ID tramo a tramo. Caudales','fontsize',tamTitulos,'fontweight','b')
586 ylabel('ID parcial','fontsize',tamEtiqu,'fontweight','b')
587 set(gca,'xtick',1:4,'xticklabel',{'Tr 1','Tr 2','Tr 3','Tr 4'})
588 xlim([0.5 4.5])
589 set(gca,'fontsize',tamEjes,'fontweight','b')
590 for ctrlTramo = 1:4
591     text(ctrlTramo,tramoATramo_Q(ctrlTramo),num2str(tramoATramo_Q(ctrlTramo),5),'fontsize',
592         ↪ tamEtiqu,'fontweight','b',...
593         'verticalalignment','bottom','horizontalalignment','center')
594 end
595
596 figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1])
597 bar(tramoATramo_Seg)
598 grid
599 title('ID tramo a tramo. Seguimiento','fontsize',tamTitulos,'fontweight','b')
600 ylabel('ID parcial','fontsize',tamEtiqu,'fontweight','b')
601 set(gca,'xtick',1:4,'xticklabel',{'Tr 1','Tr 2','Tr 3','Tr 4'})
602 xlim([0.5 4.5])
603 set(gca,'fontsize',tamEjes,'fontweight','b')
604 for ctrlTramo = 1:4
605     text(ctrlTramo,tramoATramo_Seg(ctrlTramo),num2str(tramoATramo_Seg(ctrlTramo),4),
606         ↪ 'fontsize',tamEtiqu,'fontweight','b',...
607         'verticalalignment','bottom','horizontalalignment','center')
608 end
609
610 figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1])
611 bar(tramoATramo_Restr)
612 grid

```

```
612 title('ID tramo a tramo. Restricciones','fontsize',tamTitulos,'fontweight','b')
613 ylabel('ID parcial','fontsize',tamEtiqu,'fontweight','b')
614 set(gca,'xtick',1:4,'xticklabel',{'Tr 1','Tr 2','Tr 3','Tr 4'})
615 xlim([0.5 4.5])
616 set(gca,'fontsize',tamEjes,'fontweight','b')
617 for ctrlTramo = 1:4
618     text(ctrlTramo,tramoATramo__Restr(ctrlTramo),num2str(tramoATramo__Restr(ctrlTramo),4),
619         ↪ 'fontsize',tamEtiqu,'fontweight','b',...
619         'verticalalignment','bottom','horizontalalignment','center')
620 end
621 else
622     linkaxes(ejes,'x')
623 end
624
625
626 %_____
627 %% INDICES DE DESEMPEÑO
628 %_____
629 disp('INDICES DE DESEMPEÑO:')
630 for nn=1:visualizar
631     fprintf(' %s: %d\n',listaLeyendas{nn},round(ID(end,nn+1)))
632 end
```