



EPS

Escola Politècnica

UdG

Superior

Projecte/Treball Fi de Carrera

Estudi: Enginyeria Informàtica. Pla 1997

Títol: Diagnòs basat en models tenint en compte els retards en xarxes de comunicació. Aplicació en una planta de laboratori

Document: Memòria

Alumne: Xavier Berjaga Moliné

Director/Tutor: Joaquim Melèndez i Frigola

Departament: Electrònica, Informàtica i Automàtica

Àrea: eXiT

Convocatòria (mes/any): 06/07

Índex

Índex	i
1 Introducció	1
1.1 Descripció del problema	1
1.2 Objectius i motivació	2
1.3 Planificació i temporalització	2
1.4 Organització de la memòria	7
2 Fonaments teòrics	9
2.1 Detecció de falles basat en models matemàtics	9
2.2 Anàlisi Estructural	11
2.3 Equacions de Redundància Analítica	16
3 Descripció de la planta de laboratori	19
3.1 El model de dos tancs	19
3.2 El benchmark dels 3 tancs	20
3.3 La planta de laboratori	21
3.4 Instrumentació de la planta	22
3.4.1 Elements de la planta	22
3.4.2 Interfície per a l'adquisició	22
3.4.3 Comunicacions entre els elements	23
3.5 Definició dels escenaris de falla	23
3.5.1 Gotera en el tanc T3	23
3.5.2 Vàlvula V10 Tancada	24
3.5.3 Vàlvula VR1 Obstruïda	24
3.5.4 Bloqueig de la bomba B3	24
3.5.5 Fallada en el sensor de nivell del tanc T3	24
3.5.6 Fallada en el sensor de nivell del tanc T2	25
3.5.7 Fallada en el sensor de cabal	25
3.6 Modelat i simulació de la planta	26
3.6.1 Equacions del model simple	26
3.6.2 Equacions del model dels 3 tancs	27
3.6.3 Implementació en Simulink	29
3.6.4 Implementació en scripts de Matlab	31

4	Anàlisi Estructural de la planta de laboratori	33
4.1	Consideracions inicials	33
4.2	Les equacions de redundància	35
4.2.1	Consideracions	35
4.2.2	Anàlisi Estructural de la planta i ARRs	36
4.2.3	Obtenció de la matriu de signatura de falles	39
4.3	Residus dels sistema sota condicions normals i fallada	40
4.3.1	Model d'un sol tanc	41
4.3.2	Model dels 3 tancs	42
5	Detecció de falles en el sistema de laboratori en presència de retards en les comunicacions	47
5.1	El muntatge del model de la planta	47
5.2	El problema dels retards en la detecció de falles	49
5.2.1	Falses alarmes	49
5.2.2	No detecció	50
5.2.3	Diagnosi errònia	50
5.3	Efecte dels retards en l'aïllament de falles	52
5.3.1	El model d'un sol tanc	52
5.3.2	El benchmark dels 3 tancs	54
6	Tècnica per reduir els efectes dels retards en la detecció de falles	59
6.1	Conceptes	59
6.2	Metodologia implementada	60
6.3	Resultats de l'aplicació de la tècnica	63
6.3.1	Model simple	63
6.3.2	Model dels 3 tancs	65
7	Aplicacions i Interfícies	69
7.1	La implementació	69
7.2	Interfície didàctica	70
7.2.1	Idea	70
7.2.2	Opcions	70
7.2.3	Pantalles	71
7.3	Interfície interactiva	73
7.3.1	Idea	73
7.3.2	Opcions	73
7.3.3	Pantalles	76
7.4	Aplicació per a la realització de l'Anàlisi Estructural	77
7.4.1	Idea	77
7.4.2	Procediment	77
7.4.3	Exemple d'execució	80
8	Conclusions	83
8.1	Conclusions	83
8.2	Treballs Futurs	84

Bibliografia	87
A Manuals d'usuari de les aplicacions i interfícies	89
A.1 Interfície didàctica	89
A.1.1 Descripció de les funcions	89
A.1.2 Navegació	94
A.2 Interfície interactiva	99
A.2.1 Descripció de les funcions	100
A.2.2 Exemple d'execució	104
A.3 Aplicació per a la realització de l'Anàlisi Estructural	108
A.3.1 Descripció del funcionament	108
A.3.2 Exemple d'execució	109

Capítol 1

Introducció

1.1 Descripció del problema

Amb l'augment del grau de dependència de la societat moderna dels sistemes (automòbils, avions, trens, etc.) i processos tecnològics complexos (xarxes de distribució i producció d'energia, aigua, etc.), la seva disponibilitat i correcte funcionament s'han convertit en una qüestió estratègica. El seu incorrecte funcionament pot provocar pèrdues econòmiques, perill per als operadors, inconvenients per als usuaris, etc. A més, l'automatització dels mateixos mitjançant llaços de control automàtic, si bé ha permès alliberar als operadors humans del seu control i operació manual, no els ha immunitzat enfront de les falles. S'entén per fallada tot canvi en el comportament d'algun dels components del sistema (desviació no permesa d'alguna de les seves propietats o paràmetres característics) de manera que aquest ja no pot satisfer la funció per a la qual ha estat dissenyat.[9]

En la literatura existeixen tres grans grups de tècniques de detecció i diagnòstic de falles segons estiguin basades en: l'anàlisi de senyals, models matemàtics i tècniques basades en coneixement.

La comunitat de control automàtic, coneguda com FDI (de l'anglès Fault Detection and Isolation) ha realitzat nombroses contribucions en el camp de la detecció i diagnosi de falles basat en models matemàtics. Els mètodes de detecció, diagnòstic i aïllament de falles -FDI- basats en la redundància analítica (és a dir, la comparació del comportament actual del procés amb l'esperat, obtingut mitjançant un model matemàtic del mateix), són àmpliament utilitzats pel diagnòstic de sistemes quan el model matemàtic està disponible.

La feina del FDI normalment es porta a terme en dos passos, anomenats "generació

de residus” i ”avaluació de residus”. Un residu és una senyal generada a partir de certs càlculs basats en les mesures de les variables del procés. Idealment un residu ha de ser igual a zero en el cas que el sistema estigui lliure de falles i diferent de zero quan està sota falles. Però en la pràctica els residus són diferents de zero a causa de soroll a la mesura, incerteses del model, entrades desconegudes i presència de retards en la transmissió de les dades.

1.2 Objectius i motivació

La motivació d'aquest projecte és la d'estudiar els efectes dels retards en la detecció i diagnosi de falles sobre un "Benchmark" (model de referència d'un problema que presenta múltiples solucions), present a les instal·lacions que el Departament d'Electrònica Informàtica i Automàtica disposa al laboratori "Cèl·lula de Fabricació Flexible". En aquest laboratori es disposa d'una plataforma experimental formada per un conjunt de quatre tancs interconnectats on, a partir de vàlvules, sensors, bombes i una resistència elèctrica, es realitzen controls de nivell, cabal i temperatura i permet la configuració d'escenaris per l'experimentació.
















Per tal de desenvolupar aquest projecte s'han plantejat una sèrie d'objectius a realitzar, que són:

- Implementar un mètode basat en redundància analítica per a la detecció de falles en una planta de laboratori.
- Analitzar els efectes dels retards en xarxes de comunicació en la detecció i diagnosi de falles en la planta esmentada anteriorment.
- Implementar una aplicació per a la realització de l'anàlisi estructural a partir de la matriu d'incidències.

Un cop esmentats aquests objectius principals, es passarà a descriure la planificació i temporalització que s'ha seguit en el treball per tal de poder assolir aquests objectius.

1.3 Planificació i temporalització

A continuació es mostra de forma detallada el calendari que s'ha seguit per a la realització d'aquest Projecte de Fi de Carrera.

- | | | | |
|---|--|---|---|
|  | Introducció al model a estudiar. |  | Dies no lectius |
|  | Introducció a l'aplicació d'adquisició de dades. |  | Realització d'experiments i adquisició de dades. |
|  | Disseny dels models SIMULINK. |  | Estudi dels residus segons el punt de treball. |
|  | Període d'exàmens |  | Disseny i implementació de la interfície gràfica. |
|  | Anàlisi dels busos industrials. |  | Implementació del bloc de retards. |
|  | Anàlisi comportament residus amb retards. |  | Disseny algoritme reducció efectes retards. |
|  | Disseny Interfície Anàlisi Estructural. |  | Espectura Manual d'usuari de les aplicacions. |
-  Documentació.

MARÇ 06						
DL	DM	DC	DJ	DV	DS	DG
		1	2	3	4	5
6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30	31		

ABRIL 06						
DL	DM	DC	DJ	DV	DS	DG
					1	2
3	4	5	6	7	8	9
10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23
24	25	26	27	28	29	30

MAIG 06						
DL	DM	DC	DJ	DV	DS	DG
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28
29	30	31				

JUNY 06						
DL	DM	DC	DJ	DV	DS	DG
			1	2	3	4
5	6	7	8	9	10	11
12	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25
26	27	28	29	30		

JULIOL 06						
DL	DM	DC	DJ	DV	DS	DG
					1	2
3	4	5	6	7	8	9
10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23
24	25	26	27	28	29	30
31						

SETEMRE 06						
DL	DM	DC	DJ	DV	DS	DG
				1	2	3
4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17
18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	

OCTUBRE 06						
DL	DM	DC	DJ	DV	DS	DG
						1
2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22
23	24	25	26	27	28	29
30	31					

NOVEMBRE 06						
DL	DM	DC	DJ	DV	DS	DG
		1	2	3	4	5
6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30			

DESEMBRE 06						
DL	DM	DC	DJ	DV	DS	DG
				1	2	3
4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17
18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	31

GENER 07						
DL	DM	DC	DJ	DV	DS	DG
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28
29	30	31				

FEBRER 07						
DL	DM	DC	DJ	DV	DS	DG
			1	2	3	4
5	6	7	8	9	10	11
12	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25
26	27	28				

MARÇ 07						
DL	DM	DC	DJ	DV	DS	DG
			1	2	3	4
5	6	7	8	9	10	11
12	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25
26	27	28	29	30	31	

ABRIL 07						
DL	DM	DC	DJ	DV	DS	DG
						1
2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22
23	24	25	26	27	28	29
30						

Un cop exposat el calendari que s'ha seguit per a la realització d'aquest projecte, es farà una breu descripció de cadascuna de les tasques desenvolupades:

Introducció al model a estudiar Presa de contacte amb l'entorn del benchmark sobre el que es treballarà, així com els principis que en determinen el seu comportament.

Introducció a l'aplicació d'adquisició de dades Realització d'una sèrie d'experiments per familiaritzar-se amb l'aplicació amb la que es realitzarà l'adquisició de les dades del benchmark.

Realització d'experiments i adquisició de dades Realització d'experiments per obtenir dades per a cada punt de treball i situació que es pot donar en el benchmark.

Modelat de la planta en l'entorn SIMULINK Obtenció de les equacions de redundància del sistema i implementació en l'entorn de simulació SIMULINK.

Estudi dels residus segons els punts de treball Comparació dels resultats obtinguts en els experiments i les sortides esperades segons el model teòric. Determinació del punt de treball sobre el que estudiar l'efecte dels retards.

Disseny i implementació de la interfície gràfica Disseny i implementació d'una interfície didàctica per explicar el funcionament del benchmark, així com el d'una interfície interactiva per treballar sota les diferents situacions en que es pot trobar el sistema.

Anàlisi dels busos industrials Estudi dels diversos busos industrials per l'obtenció de les distribucions de retards possibles.

Implementació dels blocs de retards Disseny dels models SIMULINK i scripts que modelen les diverses distribucions de retards obtingudes en l'apartat anterior.

Anàlisi del comportament dels residus amb retards Introducció del bloc de retards al sistema i comparació de resultats amb el model teòric.

Disseny d'un algorisme per a la reducció dels efectes dels retards Implementació d'un algorisme per a la reducció dels efectes dels retards degut a les comunicacions entre el sistema i el procés de control.

Disseny interfície per a l'anàlisi estructural Desenvolupament d'una interfície per a la realització de l'anàlisi estructural d'un sistema a partir de la matriu d'incidències que modela un sistema.

Espectura dels manuals d'usuari Realització dels manuals d'usuari per a cadascuna de les interfícies creades.

Documentació Recopilació de la informació i documentació necessària per a la realització d'aquest projecte.

1.4 Organització de la memòria

Tot seguit es presentarà el format que seguirà aquesta memòria per tal de tenir una idea clara de la seva organització, així com una breu descripció de què és el que es pot trobar en cadascun dels capítols que es tractaran.

En el **Capítol 1** s'ha donat una introducció sobre el camp en que s'engloba aquest projecte, així com els principals objectius plantejats per aquest projecte i les tasques en que es dividirà per tal d'assolir-los.

Pel que fa al **Capítol 2**, es realitzarà una exposició dels fonaments teòrics que defineixen el marc on s'engloba aquest projecte (la detecció i aïllament de falles), donant les idees bàsiques de les tècniques utilitzades per acabar parlant de la tècnica amb que es centra aquest projecte.

Al **Capítol 3**, es descriurà la planta del laboratori sobre la que s'ha treballat, tot explicant els principis en que es basa i les diverses eines que s'utilitzaran per tal de comunicar-se amb ella i obtenir-ne les dades, així com una breu descripció de cadascun

dels diferents escenaris sobre el que s'ha estudiat el sistema.

El **Capítol 4** es centra en el model de la planta, tot aplicant la tècnica de l'anàlisi estructural per obtenir el conjunt d'equacions que permeten implementar el detector de falles i l'obtenció de residus sense considerar l'efecte dels retards.

Pel que fa al **Capítol 5**, es realitzarà un estudi dels diversos efectes que tenen els retards sobre els residus i com a conseqüència, en la detecció i aïllament de falles, tot mostrant una sèrie de resultats obtinguts amb presència de retards en el sistema de comunicació entre el procés i l'ordinador que realitza la detecció i aïllament de falles.

En el **Capítol 6** s'introdueix una tècnica per intentar reduir els efectes dels retards en les comunicacions a l'hora de realitzar l'anàlisi del sistema, així com es mostraran una sèrie de resultats obtinguts amb l'aplicació d'aquesta tècnica.

Al **Capítol 7** es farà una breu descripció de les diverses interfícies i aplicacions que s'han realitzat en el marc d'aquest projecte.

En el **Capítol 8** es presentaran les diverses conclusions obtingudes després de la realització d'aquest Projecte Final de Carrera, així com els treballs futurs que se'n poden derivar.

Finalment, es presenta un recull de referències bibliogràfiques que s'han anat consultant durant la realització d'aquest projecte.

Cal afegir que adjunt a aquesta memòria hi ha un annex, l'Annex A, que fa referència als manuals d'usuari de cadascuna de les interfícies que s'han desenvolupat durant la realització del projecte.

Capítol 2

Fonaments teòrics

2.1 Detecció de falles basat en models matemàtics

Degut a la gran importància que prenen cada dia a sistemes complexos i processos automàtics, el correcte funcionament d'aquests ha esdevingut un tema de gran interès i necessitat. Per tant, la detecció de quan es produeix una falla en aquests sistemes ha de ser tan immediata com sigui possible, i si es fa de forma automàtica, encara millor. Tal com s'ha comentat en el capítol 1, per falla s'entén una variació en el comportament habitual del sistema que li impedeix desenvolupar la funció per la qual va ser dissenyada en un principi.

La diagnosi de falles consisteix en la detecció de les falles presents en el sistema que s'està analitzant, a part del temps en que s'ha produït aquesta. Al seu torn, la diagnosi de falles es divideix en les següents tasques[8]:

- **Detecció de falles** (*Fault Detection*): Detectar l'aparició d'una fallada. El mètode més habitual per a realitzar aquesta operació és la realització d'una comparació entre els paràmetres estimables / mesurables i amb els valors actuals, per tal trobar discrepàncies o evidències d'un funcionament anòmal.
- **Aïllament i diagnosi de falles** (*Fault Isolation*): Aïllar la falla de les dades recollides. Principalment consisteix en determinar l'origen de la falla, així com la duració, tamany i temps en que s'ha produït.

Aquestes dues tasques normalment s'acostumen a associar i referir de forma conjunta com a FDI (Fault Detection and Isolation, o Detecció i Aïllament de Falles).

Un cop introduïda la diagnosi de falles, tot seguit es passarà a explicar en més detall les tècniques emprades per a la detecció de falles basada en models.

Els mètodes de Detecció de falles depenen clarament del procés i de la informació de què se'n disposa. A part, quan es treballa amb mètodes basats en models analítics (equacions diferencials), com en aquest cas, s'utilitzen eines de processament de senyal o estadístiques per comparar les sortides mesurades i les simulades - considerant les mateixes entrades - per tal d'obtenir discrepàncies. Tot això dóna la necessitat de treballar amb models precisos, essent aquest el principal inconvenient d'aquestes tècniques.

Els mètodes que es basen en models analítics o matemàtics, es basen en analitzar la consistència dels senyals mesurats amb el model teòric de la planta, tècnica que rep el nom de redundància analítica. La principal tasca d'aquests mètodes és la generació de residus, o el que vindria a ser el mateix, canvis o divergències en el procés, obtinguts a partir de variables o paràmetres del model del sistema. Els residus s'obtenen de la comparació entre les dades que s'obtenen del model i les dades que proporciona el procés que s'està analitzant. Les tècniques per a l'obtenció de residus es divideixen en funció del model i mètodes emprats, essent:

- **Generació de residus basada en observadors:** consisteix en la utilització d'observadors o filtres de Kalman per reconstruir a partir de les entrades les sortides d'interès del sistema. L'error entre les dades reals i les estimades o una funció seva s'utilitza com a residu.[4]
- **Aproximació basada en l'espai de paritat:** es basa en la comprovació de la consistència de les equacions de paritat (per exemple les equacions del sistema modificades) utilitzant els senyals mesurats. Les equacions de paritat desacoblen els residus de manera que indiquin les inconsistències corresponents a les diferents falles. Aquesta aproximació es pot considerar com una classe especial de la basada en observadors [5].
- **Estimació de paràmetres:** es parteix de la suposició que les falles es produeixen en els paràmetres físics del sistema (massa, fregament, resistència, etc). Els paràmetres matemàtics del sistema s'estimen en línia utilitzant un model del sistema La correspondència entre els paràmetres matemàtics del model i els paràmetres físics del sistema permet estimar els segons i comparar-los amb els de referència, obtinguts a partir del model sense fallades.[3]

En aquest projecte s'ha utilitzat una tècnica de generació de residus basada en el

concepte d'espai de paritatat que s'anomena Anàlisi estructural. A continuació s'amplia la seva descripció.

2.2 Anàlisi Estructural

L'Anàlisi estructural consisteix en l'anàlisi d'aquelles característiques que són independents als valors dels paràmetres. És una manera per representar les relacions existents entre les variables i els paràmetres resultants del model, que al seu torn, són independents de la forma sobre la que es representarà aquest model. Tot i la seva simplicitat, aquest anàlisi permetrà obtenir informació de cara a la fase de disseny del sistema de diagnòstic, així com dels mecanismes de tolerància.[9]

L'estructura del sistema físic pot ser obtinguda a partir del model de comportament en condicions normals:

$$S = (R, V)$$

On:

S :és el model que representa el sistema a analitzar.

R :és el conjunt de relacions que es donen en el sistema.

V :és el conjunt de variables que ens determinen les relacions del sistema.

Tot seguit es mostren un seguit de restriccions d'un sistema del sistema que es mostra en la Figura 2.1, per tal d'il·lustrar amb un exemple com seria la definició d'aquest sistema seguint aq

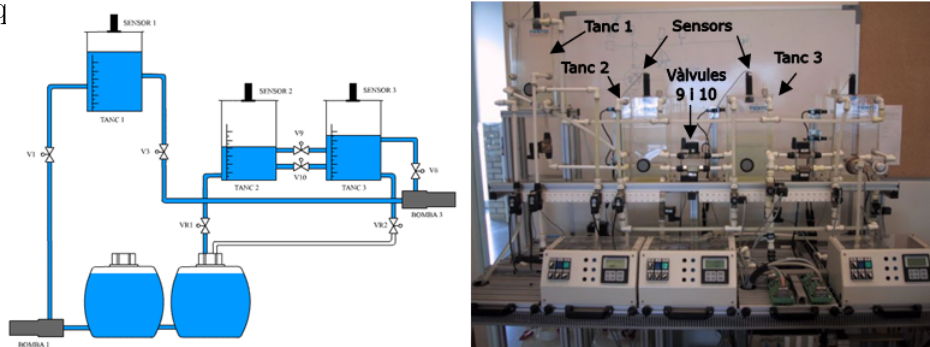


Figura 2.1: Esquema del sistema d'exemple

Aquest sistema es descriu amb detall en el següent capítol i serà el que s'utilitzarà al llarg del projecte pels experiments que s'han realitzat.

$$c_1 : Q_L = 0 \quad (2.2)$$

$$c_2 : Q_P = u(t)\bar{Q}_P \quad (2.3)$$

$$c_3 : \dot{h}_3 = \frac{1}{A}(Q_P - Q_L - Q_{32}) \quad (2.4)$$

$$d_4 : \dot{h}_3 = \frac{d}{dt}h_3 \quad (2.5)$$

$$c_5 : Q_{32} = k_1\sqrt{|h_3 - 13|} + k_2\sqrt{|h_3 - h_2|} \quad (2.6)$$

$$d_6 : \dot{h}_2 = \frac{d}{dt}h_2 \quad (2.7)$$

$$c_7 : \dot{h}_2 = \frac{1}{A}(Q_{32} - Q_N) \quad (2.8)$$

$$c_8 : Q_N = k_3\sqrt{h_2} \quad (2.9)$$

$$m_1 : h_3 = h_{3,m_1} \quad (2.10)$$

$$m_2 : h_2 = h_{2,m_2} \quad (2.11)$$

$$m_3 : Q_P = Q_{P,m_3} \quad (2.12)$$

On:

Q_L : Cabal que apareix quan es produeix una gotera en el tanc T3.

Q_P : Cabal d'entrada al tanc T3.

Q_{32} : Cabal que circula entre els tancs T3 i T2.

Q_N : Cabal de sortida del tanc T2.

h_{3,m_1} : Nivell mesurat del tanc T3.

h_{2,m_2} : Nivell mesurat del tanc T2.

A la vegada, el conjunt V de variables del sistema es pot descomposar en:

$$V = X \cup K$$

On:

(2.13)

X :subconjunt de variables no conegudes dels sistema.

K :subconjunt de variables observades / mesurades del sistema.

Si es descomposa el conjunt de variables que apareixen en les restriccions de l'exemple d'aquesta manera, el resultat es mostra en la Taula 2.1, on s'ha marcat amb \checkmark al conjunt al qual pertany la variable.

Variable	Mesurable	No mesurable
Q_L		✓
Q_P		✓
Q_{32}		✓
Q_N		✓
h_{3,m_1}	✓	
h_{2,m_2}	✓	

Taula 2.1: Taula de relació de les variables

La base per tal de realitzar tot aquest procés és la **matriu estructural**, també anomenada d'incidències [10]. La matriu estructural és la matriu en que a les files es troben representades les relacions del model (conjunt R) i en les columnes es posen les variables que conformen les relacions (conjunt V). Per a cada parell de valors que conformen la matriu, el valor en cada element $m_{i,j}$ serà 1 si i només si la variable de la columna j està continguda en la relació de la fila i , i 0 en cas contrari.

Seguint amb l'exemple que s'ha anat mostrant al llarg d'aquest apartat, la Taula 2.2 presenta la matriu d'incidències que s'obté de les restriccions del sistema.

	Q_L	Q_P	\dot{h}_3	h_3	Q_{32}	\dot{h}_2	h_2	Q_N
c_1	1							
c_2		1						
c_3	1	1	1		1			
d_4			1	1				
c_5				1	1		1	
d_6						1	1	
c_7					1	1		1
c_8							1	1
m_1				1				
m_2							1	
m_3		1						

Taula 2.2: Matriu d'incidències de l'exemple

A partir d'aquí, i segons l'anàlisi estructural proposat per Cassar i Staroswiecki [2] i que serà el que es seguirà, es tracta de determinar el Perfect Matching (PM) entre les variables X i les equacions R utilitzant un graf bipartit:

$$G = (R \cup X, A)$$

On: (2.14)

G : Graf bipartit que representa les relacions entre equacions i variables.

R : Conjunt de relacions que conformen el sistema.

X : Subconjunt de variables desconegudes del sistema.

A : Conjunt d'arcs orientats entre variables i equacions / relacions del sistema.

En el cas del sistema que s'està utilitzant com a exemple, el corresponent graf bipartit es mostra en la Figura 2.2.

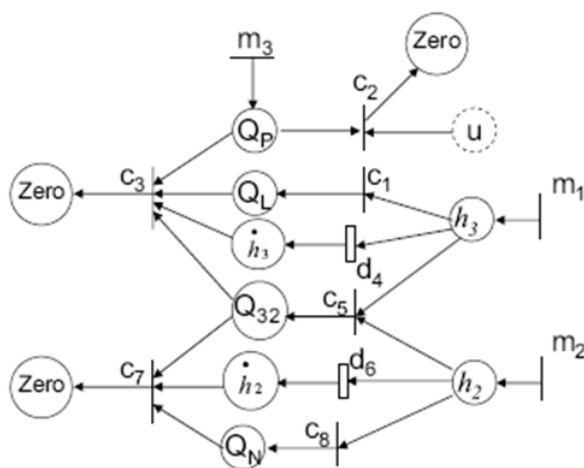


Figura 2.2: Graf bipartit del sistema d'exemple

El pseudocodi de l'algoritme de ranking que s'utilitza per trobar els PM es mostra en la Figura 2.3 [1].

Si s'aplica aquest algoritme sobre la matriu de l'exemple, s'obté la següent taula de *matchings* (Taula 2.3).

I on es pot observar que els uns que han quedat encerclats representen els *matchings* entre restriccions i variables, i per una altra banda, els uns en negreta són aquelles restriccions que pertanyen al grup dels ZERO i que són aquelles equacions que no presenten cap *matching*.

Es podria dir que cadascuna d'aquestes relacions R representa una relació causal que associa algunes de les variables de les equacions amb la corresponent relació amb la qual

<p>Donat: Una matriu d'incidències</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Marcar totes les variables conegudes. $i = 0$. 2. Trobar totes les restriccions que presenten exactament una variable no marcada. L'hi associem rang i, al mateix temps que marquem la corresponent variable amb aquest mateix rang. 3. Si hi ha restriccions no marcades, les variables de les quals ja han estat totes assignades, les associem amb rang i, i les connectem amb la pseudo-variable ZERO. 4. $i = i + 1$. 5. Si hi ha variables no marcades, anem al pas 2. <p>Resultat: Rang de totes les variables.</p>
--

Figura 2.3: Pseudocodi de l'algorisme de ranking

	Q_L	Q_P	h_3	h_3	Q_{32}	h_2	h_2	Q_N	Rang	ZERO
c_1	①								0	
c_2		1							0	1
c_3	1	1	1		1				2	1
d_4			①	1					1	
c_5				1	①		1		1	
d_6						①	1		1	
c_7					1	1		1	2	1
c_8							1	1	①	
m_1				①					0	
m_2							①		0	
m_3		①							0	

Taula 2.3: Matriu d'incidències del sistema de l'exemple després d'aplicar l'algorisme de ranking

poden ser calculades, provocant que les variables que no formen part d'aquest aparellament no puguin ser calculades.

Quan es dona el cas que hi ha més relacions que variables desconegudes en un sistema, aquelles relacions que no intervinguin en el PM , reben el nom de **relacions de redundància** (RR). Aquestes relacions de redundància no són necessàries per a determinar les variables no mesurades del sistema i seran les utilitzades com a generadors de

residus.

Cada relació de redundància origina una *relació de redundància analítica* (*ARR*), que s'obté de substituir les variables no mesurades per aquelles restriccions que inclouen les variables no mesurades. Aquestes s'obtenen de l'anàlisi del sistema a partir del graf bipartit i l'algorisme de matching que s'ha comentat anteriorment.

2.3 Equacions de Redundància Analítica

Un cop introduït l'anàlisi estructural, del qual s'obtenen les equacions de redundància analítica que també s'han explicat en el punt anterior, es parlarà de la metodologia que comporta treballar amb aquest tipus d'equacions.

Si es treballa amb equacions de redundància analítica (*ARR*), s'està utilitzant les tècniques de detecció de falles basada en models. Aquests mètodes es basen en la utilització de models per a la generació de senyals addicionals que permetran, a partir de la seva comparació amb els senyals mesurats, determinar l'estat del sistema.

Aquesta comparació es realitza a partir de la següent equació:

$$\phi(t) = f(u(t), y(t), \theta)$$

On:

(2.15)

$\phi(t)$: és la funció que determina els residus del sistema a l'instant t .

$u(t)$: són les entrades del sistema a l'instant t .

$y(t)$: són les sortides del sistema a l'instant t .

θ : són els paràmetres del sistema.

Si es continua amb l'exemple, les equacions de redundància que es troben són:

$$ARR1 : Q_{p,m_3} - k_1\sqrt{h_3 - 13} - k_2\sqrt{h_3 - h_2} - A\dot{h}_3 = 0 \quad (2.16)$$

$$ARR2 : k_1\sqrt{h_3 - 13} + k_2\sqrt{h_3 - h_2} - A\dot{h}_2 = 0 \quad (2.17)$$

$$ARR3 : U(t)\bar{Q}_P - Q_{p,m_3} = 0 \quad (2.18)$$

En el cas ideal, quan no es produeix cap falla, el residu esperat del sistema hauria de ser 0, i en presència d'una falla, aquest hauria de ser un valor diferent de 0; reduint la metodologia a una simple comprovació de si un valor és diferent de 0. Però degut a la presència de perturbacions, sorolls i errors a l'hora de la generació del model, aquest fet no es produeix en la realitat. Per tant, la detecció basada en recursos haurà de ser resistent a aquests efectes, o el que és el mateix, *robust*. A efectes pràctics, la tècnica o metodologia més aplicada actualment, i sobre la que es basa aquest projecte, és l'establiment d'uns llindars al voltant del valor zero que es determinen a partir de criteris estadístics, que indicarà que quan els valors se situïn en aquesta zona, el sistema es troba en condicions normals o sense fallada.

Per tal d'establir aquests llindars, el més habitual és realitzar un conjunt d'experiments amb el sistema per tal de determinar el rang dels valors vàlids dins el seu règim de funcionament, per a continuació aplicar un estudi estadístic d'aquests valors, que acaba desembocant en la determinació del rang de valors vàlids en el residu observat.

Una vegada conegut el rang de cadascuna de les restriccions, les equacions de redundància del sistema són aquelles que se'ls hi ha assignat la pseudo-variable ZERO. Per tal d'obtenir l'equació, i tal com s'ha comentat anteriorment, ho únic que s'ha de fer és anar substituint cadascuna de les variables que intervenen en la restricció per les relacions que donen les variables que es necessiten i anar repetint els passos fins que s'arriba a les variables conegudes / mesurades.

Capítol 3

Descripció de la planta de laboratori

El model de planta sobre el que es treballarà permet diverses configuracions. En aquest projecte es treballarà amb 2 d'aquestes configuracions: un model d'un sol tanc (amb un segon tanc que li aporta cabal però que no es té en compte a l'hora de realitzar-ne l'estudi) i el model dels 3 tancs, que serà el model amb el mateix funcionament que el model d'un sol tanc, però amb la presència de més tancs per tal d'assegurar un cabal més constant del que s'obté amb el primer model.

Tot seguit es farà una breu introducció als dos models sobre els que es treballarà, mostrant la idea principal del seu funcionament així com les seves principals característiques.

3.1 El model de dos tancs

El model que es presenta en aquest capítol consta de dos tancs, un dels quals es troba situat a una alçada major que l'altre, i que buida per gravetat sobre el segon. L'objectiu del procés és que el tanc situat a una alçada superior tingui un nivell constant a través de l'aigua que s'obté del tanc situat a un nivell inferior (anomenat reservori). Per tal d'assolir aquest objectiu, es disposa d'un controlador PID que determina el nivell del tanc superior a partir del cabal d'entrada que rep d'una bomba.

L'estructura del sistema que segueix aquest model es pot observar a la Figura 3.1, on es veu la distribució dels tancs, així com els elements que s'utilitzaran per al seu control i monitorització.

Aquest muntatge es realitza sobre el mateix model de planta que s'utilitza per al benchmark dels 3 tancs, amb l'únic requeriment de realitzar una sèrie de reconfiguracions de l'entorn de treball.

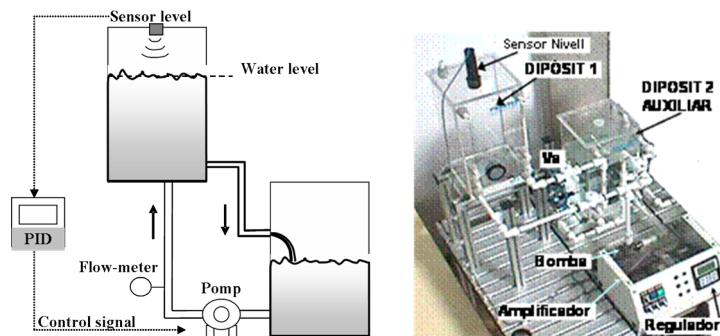


Figura 3.1: Esquema del muntatge del model d'un sol tanc

3.2 El benchmark dels 3 tancs

Un benchmark és un model de referència que presenta múltiples solucions. En aquest cas, es tractarà amb el "Laboratory 3 Tank System", que s'ha traduït com el sistema dels 3 tancs, plantejat per la European Science Foundation dins el programa "Control of Complex System" (COSY)[11]. Tot seguit es presenta la Figura 3.2.

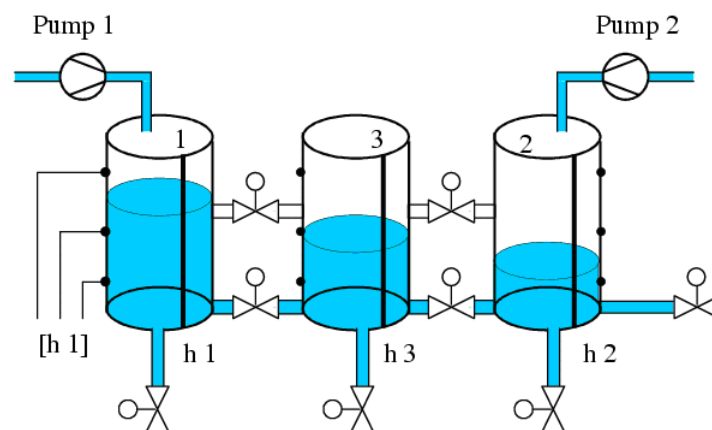


Figura 3.2: Esquema del Benchmark "Laboratory 3 Tank System"

Tal com es pot observar, el benchmark consta de 3 dipòsits interconnectats entre sí, on es pretén controlar el sistema perquè cada dipòsit assoleixi un determinat nivell. Els nivells dels dipòsits 1 i 2 es controlen mitjançant unes bombes, controlades de forma independent cadascuna d'elles, i el nivell del dipòsit 3, es controlen a través de l'actuació de les vàlvules situades al seus laterals. L'objectiu que es persegueix és que el tanc 3 subministri un flux constant, fet que només es pot aconseguir si aquest manté un nivell constant, provocant que els altres tancs també li hagin de passar un flux constant d'aigua.

3.3 La planta de laboratori

Un cop introduït el benchmark sobre el que es treballarà, es parlarà de l'adaptació que es disposa en el laboratori de "Cèl·lula de Fabricació Flexible" del Departament d'Electrònica Informàtica i Automàtica (EPS-P4 / 004), i que és sobre el que es treballarà.

El Benchmark COSY implementat en el laboratori consta de tres dipòsits rectangulars de 30 cm. d'alçada i de secció rectangular de 17 x 19 cm. dos d'aquests dipòsits (tanc T2 i tanc T3) estan a la mateixa alçada, el tercer dipòsit (tanc T1) està a una alçada superior, tal com es pot observar a la Figura 3.3, i on al costat també es pot veure una fotografia del muntatge que hi ha present al laboratori.

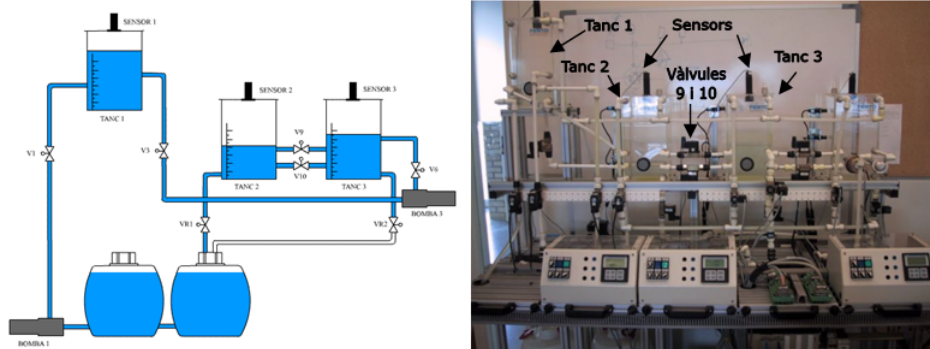


Figura 3.3: Esquema de l'adaptació del COSY present al laboratori i fotografia del muntatge

El tanc T1 o tanc auxiliar, el tanc situat a un nivell superior, és alimentat per la bomba 1 que agafa el fluid d'uns dipòsits auxiliars inferiors. La tasca d'aquest dipòsit és la de proporcionar cabal constant i suficient al tanc T3.

El tanc T3 s'alimenta per la bomba 3, que impulsarà fluid des del tanc T1. Alhora el tanc T3 alimentarà al tanc T2 mitjançant dues canonades que els comuniquen.

El nivell del tanc T3 vindrà regulat per la bomba 3, d'aquesta manera s'aconseguirà un nivell estable, El nivell del tanc T2 vindrà regulat per unes electrovàlvules tot o res, vàlvula V10 i vàlvula V9, que permetran el pas de fluid des del tanc T3 al tanc T2 per tal d'aconseguir un nivell constant i així aconseguir un cabal constant a la sortida del tanc T2.

3.4 Instrumentació de la planta

3.4.1 Elements de la planta

El sistema consta de tres reguladors Bürket connectats a través d'un bus de camp Profibus, que funcionarà en mode FMS o DP. Un d'aquests reguladors serà per controlar l'alçada del tanc auxiliar, un altre per controlar l'alçada del tanc T3, i el tercer seria per a controlar la temperatura d'un altre tanc que no s'utilitza en el procés. Aquests reguladors són els que controlaran la bombes. Per a realitzar el control de les alçades, es disposa d'uns sensors d'ultrasons situats sobre els dipòsits, que permeten saber a l'alçada que es troba el fluid dins dels tancs, i poder actuar sobre les bombes i/o les vàlvules fins a obtenir els nivells desitjats.

Finalment es disposa d'un mòdul Siemens ET200U. A aquest hi ha connectat un mòdul d'entrades i sortides digitals ON / OFF i un mòdul de dues sortides analògiques, de les quals una servirà per a controlar la bomba 1 (bomba que alimenta el tanc elevat), i l'altre controla un vàlvula proporcional VR1 que es posarà en la canalització de descàrrega del tanc T3 i simular una possible gotera.

3.4.2 Interfície per a l'adquisició

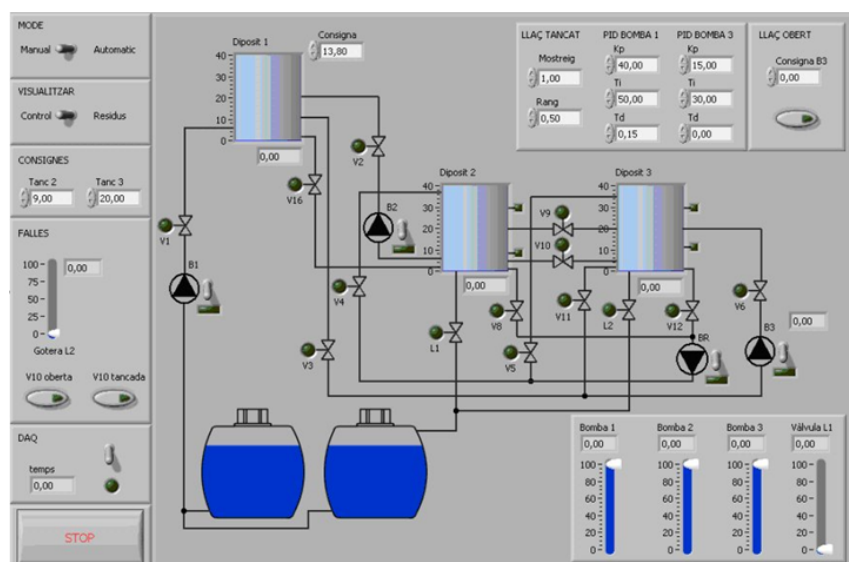


Figura 3.4: Aspecte de la interfície per a la captura de les dades del procés

Per tal de realitzar l'adquisició de les dades, s'utilitzarà la interfície que s'ha anat actualitzant en altres projectes finals de carrera[7] i que es troba disponible al laboratori.

Tot seguit es mostrarà una captura de pantalla de les diverses pantalles disponibles, i que es pot observar a la Figura 3.4.

Aquesta aplicació es va dissenyar sota LabView i permet realitzar les següents accions:

- Observar l'estat del sistema a través dels diversos valors dels nivells dels tancs (cadascun amb la seva pertinent etiqueta), així com l'actuació i obertura dels tancs a través de l'activació de cadascun dels botons rodons i quadrats presents en el disseny.
- Introduir una sèrie de falles en el sistema predefinides, com podria ser el cas de la impossibilitat d'obrir o tancar una determinada vàlvula, una gotera en un conducte, etc.
- Visualitzar el comportament dels residus del sistema (diferència entre el valor real i l'esperat).
- Enregistrar les dades que arriben del procés en diversos fitxers d'Excel per tal de poder treballar posteriorment amb ells.

3.4.3 Comunicacions entre els elements

S'ha utilitzat un ordinador remot per realitzar el control i l'adquisició de dades i l'entorn per fer-ho ha estat el LabVIEW. La comunicació entre aquest ordinador i el procés es realitza amb un bus de camp amb el protocol PROFIBUS DP. Aquest bus de camp s'ha troba totalment configurat a l'iniciar el treball. La comunicació física es realitza a partir d'una tarja d'adquisició de dades PROFIBUS de la casa Applicom International. Amb aquesta tarja hi ha inclòs un paquet de programes per crear, configurar, inicialitzar i testejar la connexió PROFIBUS. A més, també hi ha un servidor OPC que pot utilitzar qualsevol client, anomenat "Applicom OPC Server".

3.5 Definició dels escenaris de falla

Un cop presentada la planta del laboratori així com dels elements que la conformen, es parlarà dels possibles escenaris de fallada que es poden donar en el sistema, i que es simularan a través de la interfície emprada per a l'adquisició de les dades [7].

3.5.1 Gotera en el tanc T3

En aquest escenari es provoca una pèrdua o gotera en el tanc T3. Aquesta falla, es simula mitjançant una vàlvula proporcional col·locada a la sortida del tanc T3. Amb aquesta

vàlvula es poden generar diferents falles segons el grau d'obertura que s'indiqui a l'electrovàlvula provocant uns cabals de sortida, tot tractant de simular goteres més grans o més petites.

Es tractaria de simular el cas real en que tinguéssim el dipòsit foradat o bé que el fluid s'escapés entre les juntes del dipòsit.

3.5.2 Vàlvula V10 Tancada

Aquest escenari consisteix en que la vàlvula V10 queda obstruïda o totalment tancada, produint que no passi aigua del tanc T3 al tanc T2.

Es tractaria de simular el cas que aquesta vàlvula no respongués al control per avaria o per ruptura de la vàlvula. La falla també podria estar en un mal funcionament del bus que transmet l'ordre de control.

3.5.3 Vàlvula VR1 Obstruïda

En aquest cas es força el tancament de la vàlvula VR1 del tanc T2. Aquest escenari es genera tancant la vàlvula de sortida de fluid del tanc T2 i es simula que el tanc T2 queda obstruït.

Es tractaria de simular el cas real d'una obstrucció a la sortida del tanc T2 per algun material no desitjat o be que la mateixa vàlvula es queda enclavada en posició tancada.

3.5.4 Bloqueig de la bomba B3

En aquest cas, l'escenari es produeix donant una senyal de control a la bomba B3 a un percentatge determinat, ignorant qualsevol altre ordre.

Aquest escenari tracta de simular el bloqueig de la bomba 3 en un nivell determinat, ignorant la senyal de control i bombejant un cabal inapropiat.

3.5.5 Fallada en el sensor de nivell del tanc T3

L'escenari en qüestió consisteix en augmentar el valor del nivell del tanc 2 superior al real, tot augmentant aquest valor en un 20 % superior al real.

L'objectiu d'aquest escenari és el de comprovar com afectaria un error en el tanc que s'encarrega d'aportar el flux constant a un altre tanc.

3.5.6 Fallada en el sensor de nivell del tanc T2

A l'igual que succeïa en l'escenari anterior, es tracta d'augmentar el valor del nivell del tanc 3 per sobre del real en un 20 % més.

En aquest cas, es vol estudiar és el comportament que té el sistema quan l'error es produeix en el tanc que ha de subministrar el flux constant al dipòsit.

3.5.7 Fallada en el sensor de cabal

Aquest és l'últim escenari que tractarem. Aquí consisteix en augmentar també el valor rebut del cabal en un 20 % per tal de veure el comportament del sistema.

En aquest cas, es vol tractar és que el fet de que no sigui correcta la informació d'un sensor, provocarà un comportament totalment diferent del sistema al que provoca una falla en un component inherent al sistema.

Tot seguit s'inclou la Taula 3.1, on es presenten les diverses falles que es tindran en compte en cadascun dels model assenyalades amb \checkmark , i les que no es tindran en compte amb X .

	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5^*	f_6	f_7
Model 1 tanc	X	X	X	X	\checkmark	X	\checkmark
Model 3 tancs	\checkmark	\checkmark	\checkmark	\checkmark	\checkmark	\checkmark	\checkmark

Taula 3.1: Relació de falles estudiades per cada model

On:

f_1 : Gotera en el tanc T3

f_2 : Vàlvula V10 Tancada

f_3 : Vàlvula VR1 Obstruïda

f_4 : Bloqueig de la bomba B3

f_5 : Fallada en el sensor de nivell del tanc T3

f_6 : Fallada en el sensor de nivell del tanc T2

f_7 : Fallada en el sensor de cabal

* La falla del sensor de nivell del tanc T3 és equivalent a que es produeixi una falla en el sensor de nivell en el model d'un sol tanc.

3.6 Modelat i simulació de la planta

En aquest apartat es parlarà de com s'ha adaptat el model teòric del benchmark, amb les particularitats del disponible al laboratori, a un model pràctic per treballar i realitzar les tasques a desenvolupar en el projecte.

3.6.1 Equacions del model simple

L'equació que s'utilitza per al modelat del model d'un sol tanc és la que es mostra tot seguit:

$$\frac{dh}{dt} = \frac{1}{A}[Q_i - Q_o] \quad (3.1)$$

On:

h : Nivell del tanc superior [cm]

A : Àrea del dipòsit [332,5 cm^2]

Q_i : Cabal d'entrada al tanc superior [cm^3/s]

Q_o : Cabal de sortida al tanc inferior [cm^3/s]

El cabal d'entrada al tanc ve determinat en funció del senyal de la bomba:

$$Q_i = (0.0031 \times U_{bomba}^2 + 0.0163 \times U_{bomba} + 17.612) \quad (3.2)$$

On:

U_{bomba} : Senyal de control de la bomba [adimensional]

Pel que es refereix al cabal de sortida, l'equació que en defineix el comportament és:

$$Q_o = PC \times s \times \sqrt{2 \times g \times (h - h_f)} \quad (3.3)$$

On:

PC : Pèrdua de càrrega de la canonada de descàrrega [adimensional]

s : Secció de la canonada [0.7584 cm^2]

g : Gravetat [$981 \text{ cm}^2/\text{s}$]

h_f : Alçada del forat de sortida [2 cm]

3.6.2 Equacions del model dels 3 tancs

[7]Les equacions per al modelat del nivell dels tancs que formen la planta són:

$$\frac{dh_2}{dt} = \frac{1}{A}[Q_{i_2} - Q_{o_2}] \quad (3.4)$$

$$\frac{dh_3}{dt} = \frac{1}{A}[Q_{i_3} - Q_{o_3}] \quad (3.5)$$

On:

h_2 : Nivell del tanc 2 [cm]

h_3 : Nivell del tanc 3 [cm]

Q_{o_2} : Cabal de sortida del tanc T2 [cm^3/s]

Q_{o_3} : Cabal de sortida del tanc T3 [cm^3/s]

Q_{i_2} : Cabal d'entrada del tanc T2 [cm^3/s]

Q_{i_3} : Cabal d'entrada del tanc T3 [cm^3/s]

A : Àrea del dipòsit [332.5 cm^2]

Al seu torn, els cabal d'entrada del tanc 3 està en funció del senyal de control de la bomba 1, i que es troben de forma experimental, essent per tant:

$$Q_{i_3} = (0.0031 \times U_{bomba}^2 + 0.0163 \times U_{bomba} + 17.612) \quad (3.6)$$

Pel que es refereix al cabal de sortida, l'equació que en modela el valor és la que es mostra tot seguit:

$$Q_{o_2} = PC_{o_2} \times s \times \sqrt{2 \times g \times (h_2 - h_f)} \quad (3.7)$$

On:

h_f = Alçada del forat de sortida [2 cm]

PC_{o_2} : Pèrdua de càrrega de la canonada de descàrrega [adimensional]

g : Gravetat [981 cm^2/s]

s : Secció de la canonada [0.7584 cm^2]

Pel que es refereix al cabal que circula entre els tancs T3 al T2:

$$Q_{o_3} = U_{V_9} \times PC_{V_9} \times s \times \sqrt{2 \times g \times (h_3 - h_2)} + U_{V_{10}} \times PC_{V_{10}} \times s \times \sqrt{2 \times g \times (h_3 - h_2)} \quad (3.8)$$

On:

PC_{V_9} : Pèrdua de càrrega en la Vàlvula V9 [adimensional]

$PC_{V_{10}}$: Pèrdua de càrrega en la Vàlvula V10 [adimensional]

U_{V_9} : Control de la Vàlvula V9 [adimensional]

$U_{V_{10}}$: Control de la Vàlvula V10 [adimensional]

Dependent de la combinació de nivells del tanc T2 i T3, aquestes equacions queden modificades de la manera que es mostra a continuació:

1. Si el nivell del tanc T3 és inferior a 7,5 cm ($h_3 < 7,5$)

$$Q_{o_3} = 0$$

2. Si el nivell del tanc T3 està entre 7,5 cm i 13 cm ($7,5 < h_3 < 13$) es donen 2 casos possibles:

- (a) El nivell del tanc T2 és inferior a 7,5 cm ($h_2 < 7,5$)

$$Q_{o_3} = U_{V_{10}} \times PC_{V_{10}} \times s \times \sqrt{2 \times g \times (h_3 - 7,5)}$$

- (b) El nivell del tanc T2 està entre 7,5 i 13 cm ($7,5 < h_2 < 13$)

$$Q_{o_3} = U_{V_{10}} \times PC_{V_{10}} \times s \times \sqrt{2 \times g \times (h_3 - h_2)}$$

3. Si el nivell del tanc T3 és superior a 13 cm ($h_3 > 13$), els casos possibles són:

- (a) El nivell del tanc T2 és inferior a 7,5 cm ($h_2 < 7,5$)

$$Q_{o_3} = U_{V_9} \times PC_{V_9} \times s \times \sqrt{2 \times g \times (h_3 - 13)} + U_{V_{10}} \times PC_{V_{10}} \times s \times \sqrt{2 \times g \times (h_3 - 7,5)}$$

- (b) El nivell del tanc T2 està entre 7,5 i 13 cm ($7,5 < h_2 < 13$)

$$Q_{o_3} = U_{V_9} \times PC_{V_9} \times s \times \sqrt{2 \times g \times (h_3 - 13)} + U_{V_{10}} \times PC_V V_{10} \times s \times \sqrt{2 \times g \times (h_3 - h_2)}$$

(c) El nivell del tanc T2 és superior a 13 cm ($h_2 > 13$)

$$Q_{o_3} = U_{V_9} \times PC_{V_9} \times s \times \sqrt{2 \times g \times (h_3 - h_2)} + U_{V_{10}} \times PC_V V_{10} \times s \times \sqrt{2 \times g \times (h_3 - h_2)}$$

3.6.3 Implementació en Simulink

Per al model d'un sol tanc i per a cadascun dels punts de treballs vàlids en que pot treballar el sistema dels 3 tancs, així com per cadascuna de les condicions que es poden donar per cada punt de treball, s'ha implementat un model en Simulink per a la posterior simulació del comportament del sistema.

Simulink és una eina que incorpora Matlab per al disseny de i simulació de sistemes. El seu gran avantatge és que aquesta modelització es realitza a través de mòduls que implementen els diversos components que es poden donar en aquests sistemes, a part de permetre crear-ne de propis per implementar funcions no disponibles en un principi.

Per cada punt de treball vàlid, així com per cadascuna de les condicions que es poden donar per punt de treball s'implementarà un model en Simulink. Aquests models rebran com a paràmetres les dades que s'hauran recollit en els experiments sota cadascun dels punts de treball i serviran com a base per a l'anàlisi dels resultats que se n'obtinguin.

A mode d'exemple del treball realitzat en aquest apartat es posen les equacions que s'utilitzen per al control dels residus per al punt, així com la seva implementació en blocs de Simulink.

- $h_3 > 13$

- $7,5 < h_2 < 13$

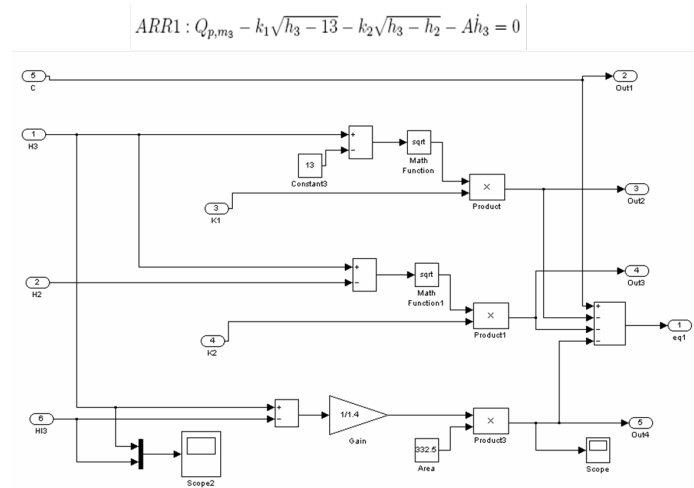


Figura 3.5: Representació en blocs de l'ARR1

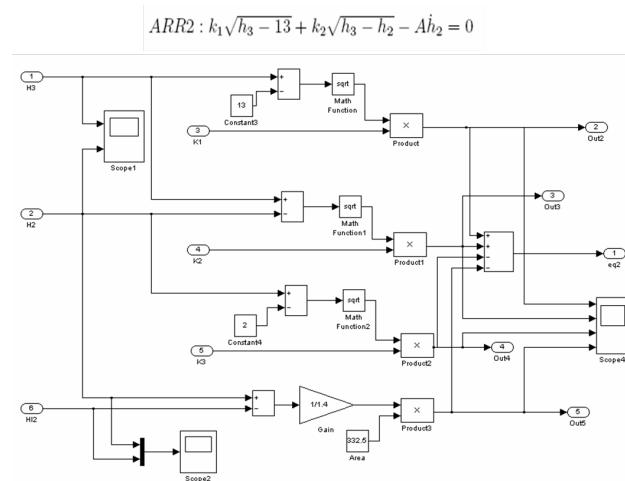


Figura 3.6: Representació en blocs de l'ARR2

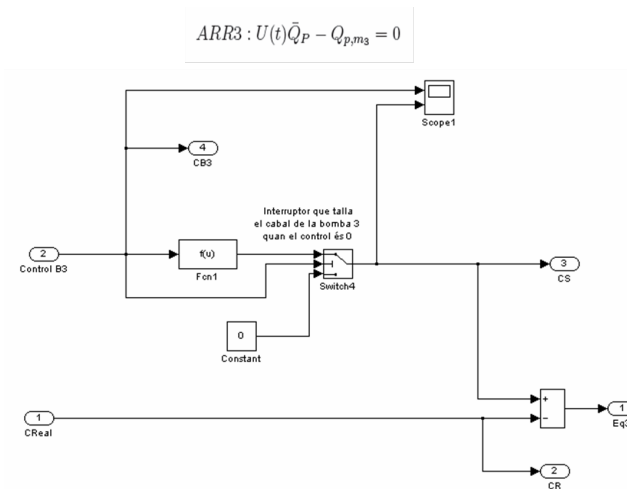


Figura 3.7: Representació en blocs de l'ARR3

3.6.4 Implementació en scripts de Matlab

A l'igual que es crearà un model en Simulink per cada combinació de punt de treball i condició, s'ha de generar un script en Matlab per a la correcta simulació, on se li passaran les dades del sistema al model, així com aquells paràmetres intrínsecs del model (secció dels tancs, força de la gravetat, alçada de les obertures, etc.).

Matlab (MATrix LABoratory) és un programa especialment dissenyat per treballar amb dades, i amb un motor de càlcul pensat per treballar de la forma més eficient amb gran nombre d'informació numèrica, i encara més si aquesta es disposa en matrius (d'aquí el seu nom).

L'estructura que seguiran aquests scripts (arxius amb instruccions que han de seguir els programes i que no requereixen de la intervenció de l'usuari) serà igual per a tots, essent:

- Formació de les dades i paràmetres per al correcte funcionament del model.
- Realització de la simulació del model Simulink.
- Recollida dels resultats de la simulació i representació dels residus obtinguts d'aquesta.

Capítol 4

Anàlisi Estructural de la planta de laboratori

En aquest capítol es parlarà de l'aplicació de la tècnica de l'anàlisi estructural sobre els dos models que es treballaran a la planta: el model de 2 tancs i el sistema dels 3 tancs. El model amb dos tancs serà el punt de partida per comprovar el correcte funcionament de la metodologia a utilitzar, i el sistema dels 3 tancs és el model de referència on es vol acabar aplicant aquesta.

4.1 Consideracions inicials

El sistema d'estudi que s'estudia en aquest projecte presenta un total de 5 punts de treball diferents si es té en compte les diferents combinacions que es poden donar entre els nivells del tanc 2 i el 3 i que s'han presentat en el capítol anterior. Per tal de simplificar la feina a realitzar i ja que els resultats que s'obtenen sobre cadascun dels punts de treball són equivalents, s'ha decidit treballar sobre el punt de treball determinat pels següents nivells del tanc T3 i T2:

- $h_3 > 13$
- $7,5 < h_2 < 13$

Per tal de simplificar els models que es van implementar en Simulink, s'han agrupat els valors de pèrdua de càrrega per a les vàlvules V9, V10 i VR1 en un seguit de constants (k_1, k_2, k_3) [7]. Per tal de facilitar-ne la comprensió, es detallen a continuació cadascuna de les constants que apareixeran en les equacions presentades i que es parlarà en les equacions d'aquest apartat, així com els valors numèrics que representen en 2 taules, una per

a cadascun dels models estudiats.

Variable	Significat	Valor numèric
Q_i	Cabal d'entrada [cm^3/s]	Valor calculat
u	Funció de control de la bomba [Adim]	Valor mesurat
\bar{Q}_i	Cabal simulat [cm^3/s]	Valor calculat
Q_o	Cabal de sortida [cm^3/s]	Valor calculat
k	Pèrdua de càrrega de la canonada de sortida [Adim]	6.1809
h	Nivell del tanc superior [cm]	Valor mesurat
\dot{h}	Derivada del nivell del tanc superior	Valor calculat
A	Àrea del dipòsit [cm^2]	332,5
h_{m_1}	Nivell real mesurat del tanc superior	Valor mesurat
Q_{i,m_2}	Cabal real obtingut de la bomba	Valor mesurat

Taula 4.1: Variables i constants del model simple

Variable	Significat	Valor numèric
Q_{p,m_3}	Cabal Real obtingut de la bomba B3 [cm^3/s]	Valor mesurat
k_1	Pèrdua de càrrega de la vàlvula V9 [Adim]	6,1809
k_2	Pèrdua de càrrega de la vàlvula V10 [Adim]	4,9253
k_3	Pèrdua de càrrega de la vàlvula VR1 [Adim]	8,7201
h_3	Nivell d'alçada del tanc T3 [cm]	Valor mesurat
h_2	Nivell d'alçada del tanc T2 [cm]	Valor mesurat
A	Àrea dels tancs [cm^2]	332,5
\dot{h}_3	Derivada de l'alçada del tanc T3 [Adim]	Valor calculat
\dot{h}_2	Derivada de l'alçada del tanc T2 [Adim]	Valor calculat
\bar{Q}_P	Cabal simulat [cm^3/s]	Valor calculat

Taula 4.2: Variables i constants del sistema dels 3 tancs

Pel que fa a les equacions i al sistema que s'han utilitzat com a exemple en el capítol 2 en l'apartat de l'Anàlisi Estructural, són les mateixes que modelen el sistema dels 3 tancs, i per tant, per a més informació es poden consultar en aquest capítol.

Com a punt final d'aquest apartat només comentar que el càlcul de la derivada es realitzarà utilitzant el mètode d'Euler, i que es calcula de la manera com es mostra en l'Equació 4.1.

$$\dot{h} = \frac{h_{act} - h_{ant}}{periode_mostreig} \quad (4.1)$$

4.2 Les equacions de redundància

Un cop expressades les consideracions inicials que es tindran en compte a l'hora de detectar i aïllar les falles en el cas d'estudi, es parlarà de la manera d'obtenir les equacions que s'utilitzaran per controlar el correcte funcionament del sistema.

4.2.1 Consideracions

Primer de tot fer un incís en que per a l'obtenció de les equacions de redundància a través de l'anàlisi estructural només es té en compte que el sistema està en perfectes condicions, és a dir, no hi ha presència de cap falla, així com els retards que hi pugui haver en el sistema són menyspreables.

Per tal d'evitar haver de posar a cada apartat que conforma aquest capítol, tot seguit es mostren les restriccions presents en el model d'un sol tanc.

$$c_1 : Q_i = u\bar{Q}_i \quad (4.2)$$

$$c_2 : Q_o = k\sqrt{h} \quad (4.3)$$

$$d_3 : \dot{h} = \frac{d}{dt}h \quad (4.4)$$

$$c_4 : \dot{h} = \frac{1}{A}(Q_i - Q_o) \quad (4.5)$$

$$m_1 : h = h_{m_1} \quad (4.6)$$

$$m_2 : Q_i = Q_{i_{m_2}} \quad (4.7)$$

Tal com s'ha parlat en les consideracions inicials, aquest punt només se centrarà en l'obtenció de les equacions de redundància per al punt de treball del sistema dels 3 tancs, determinat per les següents regles:

- $h_3 > 13$
- $7,5 < h_2 < 13$

Per tal d'estalviar espai en la següent secció on es parlarà de l'aplicació de la tècnica de l'anàlisi estructural sobre el benchmark analitzat, es mostren les restriccions que presenta el punt de treball triat tot seguit [6]:

$$c_1 : Q_L = 0 \quad (4.8)$$

$$c_2 : Q_P = u(t)\bar{Q}_P \quad (4.9)$$

$$c_3 : \dot{h}_3 = \frac{1}{A}(Q_P - Q_L - Q_{32}) \quad (4.10)$$

$$d_4 : \dot{h}_3 = \frac{d}{dt}h_3 \quad (4.11)$$

$$c_5 : Q_{32} = k_1\sqrt{|h_3 - 13|} + k_2\sqrt{|h_3 - h_2|} \quad (4.12)$$

$$d_6 : \dot{h}_2 = \frac{d}{dt}h_2 \quad (4.13)$$

$$c_7 : \dot{h}_2 = \frac{1}{A}(Q_{32} - Q_N) \quad (4.14)$$

$$c_8 : Q_N = k_3\sqrt{h_2} \quad (4.15)$$

$$m_1 : h_3 = h_{3,m_1} \quad (4.16)$$

$$m_2 : h_2 = h_{2,m_2} \quad (4.17)$$

$$m_3 : Q_P = Q_{P,m_3} \quad (4.18)$$

On:

Q_L : Cabal que apareix quan es produeix una gotera en el tanc T3.

Q_P : Cabal d'entrada al tanc T3.

Q_{32} : Cabal que circula entre els tancs T3 i T2.

Q_N : Cabal de sortida del tanc T2.

h_{3,m_1} : Nivell mesurat del tanc T3.

h_{2,m_2} : Nivell mesurat del tanc T2.

4.2.2 Anàlisi Estructural de la planta i ARRs

La tècnica que aquí s'exposa s'ha explicat amb més detall en el capítol 2, incloent com a exemple l'aplicació de l'anàlisi estructural sobre el benchmark dels 3 tancs. En aquest apartat només es presenten els resultats d'aplicar l'anàlisi estructural sobre els dos processos estudiats.

	Q_i	Q_o	h	\dot{h}
c_1	1			
c_2	1	1		1
d_3			1	1
c_4		1	1	
m_1			1	
m_2	1			

Taula 4.3: Matriu d'incidències del model simple

	Q_L	Q_P	\dot{h}_3	h_3	Q_{32}	\dot{h}_2	h_2	Q_N
c_1	1							
c_2		1						
c_3	1	1	1		1			
d_4			1	1				
c_5				1	1		1	
d_6						1	1	
c_7					1	1		1
c_8							1	1
m_1				1				
m_2							1	
m_3		1						

Taula 4.4: Matriu d'incidències del model dels 3 tancs

	Q_i	Q_o	h	\dot{h}	<i>Rang</i>	<i>ZERO</i>
c_1	1					1
c_2	1	1		1		1
d_3			1	Ⓛ		
c_4		Ⓛ	1			
m_1			Ⓛ			
m_2	Ⓛ					

Taula 4.5: Matriu d'incidències del model simple després d'aplicar l'algorisme de ranking

	Q_L	Q_P	\dot{h}_3	h_3	Q_{32}	\dot{h}_2	h_2	Q_N	<i>Rang</i>	<i>ZERO</i>
c_1	Ⓛ								0	
c_2		1							0	1
c_3	1	1	1		1				2	1
d_4			Ⓛ	1					1	
c_5				1	Ⓛ		1		1	
d_6						Ⓛ	1		1	
c_7					1	1		1	2	1
c_8							1	Ⓛ	1	
m_1				Ⓛ					0	
m_2							Ⓛ		0	
m_3		Ⓛ							0	

Taula 4.6: Matriu d'incidències del sistema dels 3 tancs després d'aplicar l'algorisme de ranking

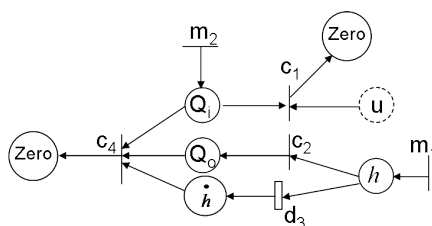


Figura 4.1: Graf dirigit del model simple

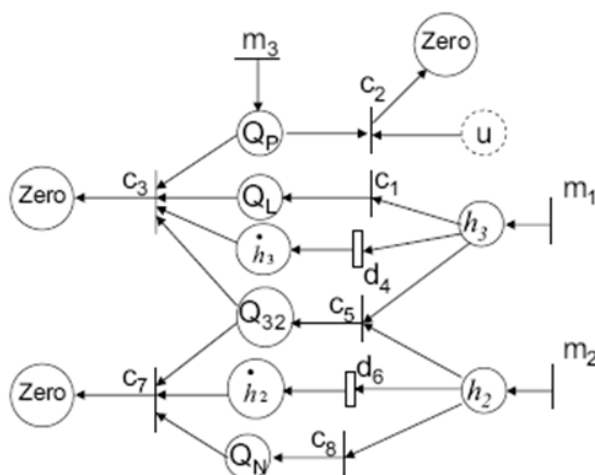


Figura 4.2: Graf dirigit del sistema dels 3 tancs

Les equacions de redundància per al model d'un sol tanc són:

$$ARR1 : Q_{i,m_2} - k\sqrt{h_{m_1}} - A\dot{h} = 0 \quad (4.19)$$

$$ARR2 : u\bar{Q}_i - Q_{i,m_2} = 0 \quad (4.20)$$

Pel que fa a les equacions de redundància per al model d'estudi en el punt de treball explicat en l'apartat de consideracions inicials i en el capítol 2, i amb les que es treballarà a partir d'ara, són les que es mostren a continuació:

$$ARR1 : Q_{p,m_3} - k_1\sqrt{h_3 - 13} - k_2\sqrt{h_3 - h_2} - A\dot{h}_3 = 0 \quad (4.21)$$

$$ARR2 : k_1\sqrt{h_3 - 13} + k_2\sqrt{h_3 - h_2} - A\dot{h}_2 = 0 \quad (4.22)$$

$$ARR3 : U(t)\bar{Q}_P - Q_{p,m_3} = 0 \quad (4.23)$$

4.2.3 Obtenció de la matriu de signatura de falles

Un cop obtingudes les equacions de redundància, i que utilitzarem com a funcions per establir l'estat del sistema, ens interessarà saber quina és la signatura de cadascuna de les falles que considerarem en el nostre estudi.

Per signatura de falla s'entén el conjunt d'equacions de redundància que presenten un comportament diferent de l'esperat, que en el nostre cas ve a ser que els residus siguin prou llunyans de zero.

Les signatures de falla s'acostumen a agrupar en una matriu, on les columnes hi podem trobar els tipus de falla que es vol aïllar i a les files s'hi troben les diferents equacions de redundància del sistema. Finalment, la nomenclatura habitual és que a cada cel·la de la matriu hi aparegui un 1 si el residu per la falla f i l'equació e és diferent de zero, i 0 en cas contrari.

Les matriu de signatura de falles teòrica dels models que s'estudien es mostren a les Taules 4.8 i 4.7, on es pot veure 1's en les equacions de redundància que difereixen de zero quan apareix una falla i 0's en cas contrari.

	f_5	f_7
ARR1	1	1
ARR2	0	1

Taula 4.7: Matriu teòrica de signatura de falles per al model simple

	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6	f_7
ARR1	1	0	1	0	1	1	1
ARR2	0	0	1	1	1	1	0
ARR3	0	1	0	0	0	0	1

Taula 4.8: Matriu teòrica de falles per al model dels 3 tancs

On:

f_1 : Gotera en el tanc T3

f_2 : Bloqueig de la bomba B3

f_3 : Vàlvula V10 Tancada

f_4 : Vàlvula VR1 Obstruïda

f_5 : Fallada en el sensor de nivell del tanc T3

f_6 : Fallada en el sensor de nivell del tanc T2

f_7 : Fallada en el sensor de cabal

Com que es vol poder identificar el tipus de falla, i tal com es pot observar en la matriu de falles, hi ha diverses falles que comparteixen una mateixa signatura, s'ha modificat aquesta notació tenint en compte el nivell de llunyania o proximitat dels valors respecte a zero, determinat per un llindar superior i un llindar inferior. En la matriu de signatures de falla hi podrem trobar -1 si el residu és diferent de zero i es troba per sota del llindar inferior, +1 si el residu és diferent de zero i per sobre del llindar superior, 1 si és diferent de zero però els valors es troben repartits tant per sobre del llindar superior i per sota del llindar inferior, i finalment 0 si els valors són prou propers a zero.

La matriu resultant d'aplicar la nostra notació sobre el model dels 3 tancs es mostra tot seguit a la Taula 4.9.

	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6	f_7
ARR1	+1	0	-1	0	-1	+1	+1
ARR2	0	0	+1	-1	+1	-1	0
ARR3	0	1	0	0	0	0	-1

Taula 4.9: Matriu de falles per a la diagnosi

Pel que fa a la matriu de signatures de falla del model simple, com que no hi ha sol·lapament entre les dues falles que es detectaran no s'ha realitzat el canvi de notació.

4.3 Residus dels sistema sota condicions normals i fallada

Un cop presentada la metodologia utilitzada per a la determinació de les equacions de redundància, així com la matriu de signatura de falles que s'utilitzarà per comprovar el correcte funcionament del model, es presentarà un seguit de resultats on s'intentarà aclarir el perquè de la notació emprada en la matriu de signatures.

Com a últim punt a comentar, en les gràfiques que es mostraran a continuació es pot veure un seguit de línies discontinües que venen a representar:

- Llindar superior i inferior de la zona de zero (negre)
- Període on s'ha produït la falla (vermell)

- Període de recuperació després de falla (verd)

4.3.1 Model d'un sol tanc

Sistema en condicions normals

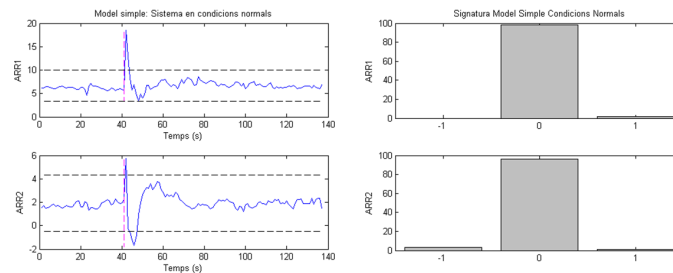


Figura 4.3: Residus i Signatura del sistema en condicions normals

Malgrat l'aparició d'uns valors per sobre i sota dels llindars de zero, a conseqüència de l'alteració introduïda pel canvi de consigna, la signatura esperada del sistema en condicions normals (tots els residus situats en la zona de zero).

Fallada en el sensor de nivell

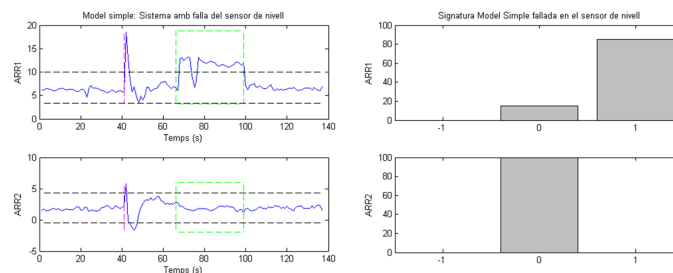


Figura 4.4: Residus i signatura de la falla en el sensor de nivell

La signatura d'aquesta falla es correspon amb la signatura teòrica, exceptuant el primer instant de temps de la seva aparició, que el valor es manté encara en la zona de zero.

Fallada en el sensor de cabal

En aquest cas, la falla manté la seva signatura exceptuant un petit interval de temps al centre de la seva duració on els valors que s'obtenen queden englobats dins la zona de zero.

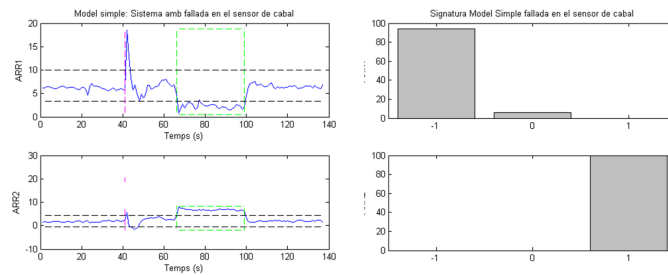


Figura 4.5: Residus i signatura de la falla en el sensor de cabal

4.3.2 Model dels 3 tancs

Sistema en condicions normals

Tot i que es dona el cas en que a l'equació 2 apareixen diversos valors per sobre i sota dels llindars de pertinença als valors propers a zero, s'ha de recordar que amb la distància de 3 desviacions estàndard de la distribució calculada sense fallada, un 99 % de valors queden inclosos, donant un lleuger marge perquè valors que són vàlids surtin dels marges.

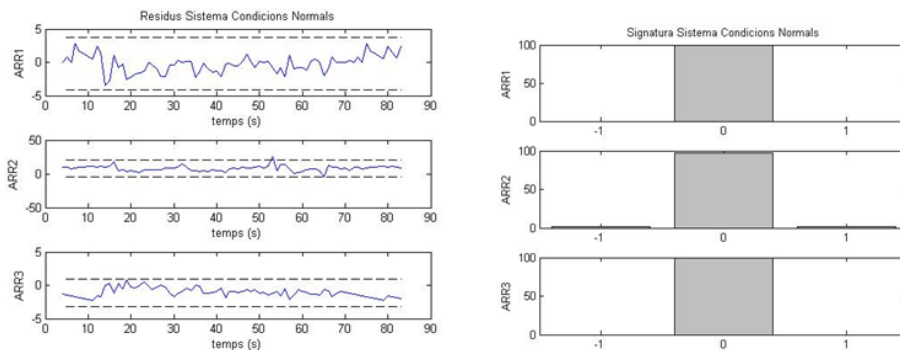


Figura 4.6: Residus i Signatura del sistema en condicions normals

Gotera en el tanc T3

Tal com es veu a la Figura 4.7, la signatura que s'extreu dels residus només es compleix estrictament al voltant de l'instant 20. El principal problema que presenta aquesta falla és que el sistema la compensa augmentant el cabal d'entrada al tanc, obtenint la conseqüent dificultat en la detecció un cop ha passat un temps significatiu respecte a la seva aparició.

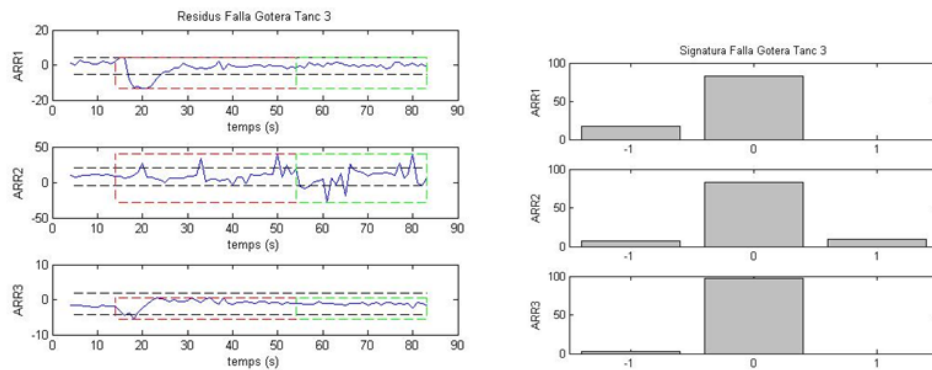


Figura 4.7: Residus i signatura de la falla gotera en el tanc 3

Bloqueig de la bomba B3

Tal com es pot veure en la Figura 4.8, la signatura que presenten els residus durant la falla es corresponen en gran mesura a la seva signatura teòrica, tot i que els valors dins de la regió de zero siguin majoria, la tendència es pot observar que hagués estat la que ens indica la matriu respecte per aquest tipus de falla.

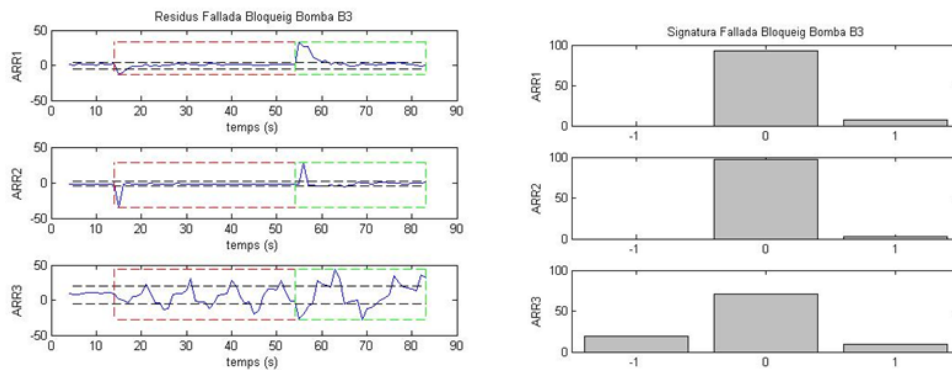


Figura 4.8: Residus i signatura de la falla de bloqueig de la bomba B3

Vàlvula V10 Tancada

De les diverses falles que s'han observat fins al moment, aquesta és la que més s'ajusta a la signatura que se li suposa a la falla, sent el màxim exponent l'equació 1. Al mateix temps, a l'equació 2 es pot observar que la distribució entre valors dins i fora dels llinars és pràcticament equitativa.

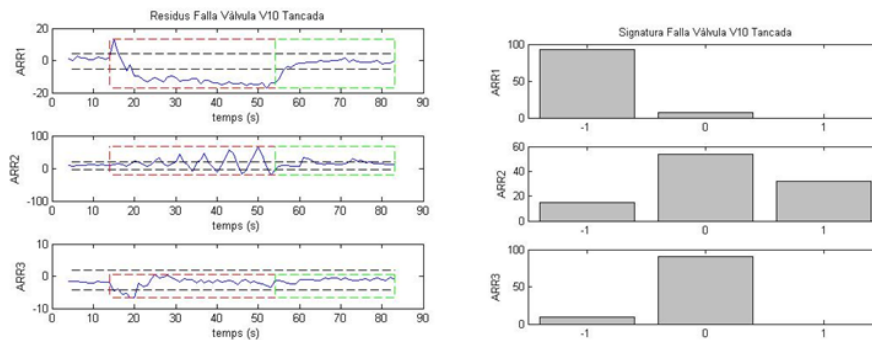


Figura 4.9: Residus i signatura de la falla vàlvula V10 tancada

Vàlvula VR1 Obstruïda

Aquesta falla és un clar reflex dels valors esperats de la seva signatura, sempre i quan s'exceptuin els primers instants, on es pot intuir la introducció de la falla.

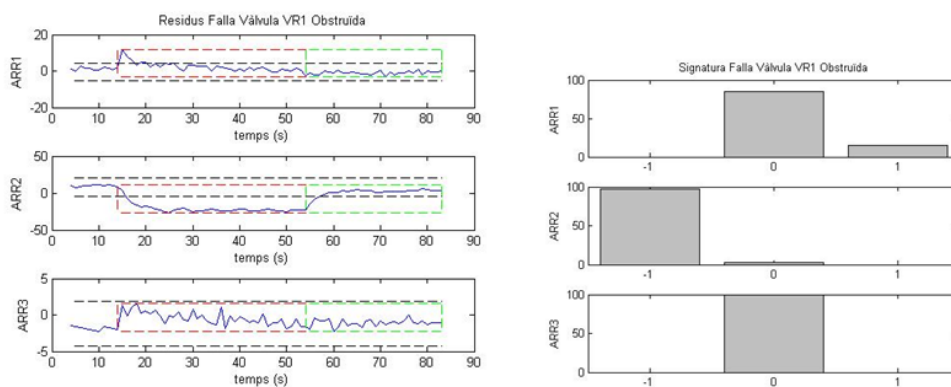


Figura 4.10: Residus i signatura de la falla vàlvula VR1 obstruïda

Fallada en el sensor de nivell del tanc T3

El primer que sobta d'aquesta falla és que al temps de la seva aparició apareix un pic amb una diferència de magnitud molt elevada, fet que no permet observar massa bé el comportament dels residus en aquesta equació. Però tal com es pot veure en la signatura que s'extreu de cadascuna de les equacions, el model teòric es correspon amb els resultats obtinguts en aquest apartat.

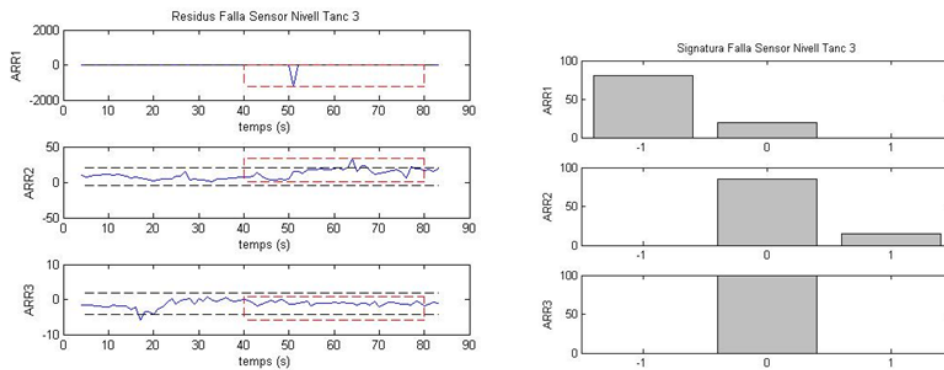


Figura 4.11: Residus i signatura de la falla en el sensor de nivell del tanc T3

Fallada en el sensor de nivell del tanc T2

Tal com passava en el cas anterior, però en aquest cas en l'equació 2, la variació en la magnitud dels residus no permet apreciar de forma prou correcta el comportament dels residus en la primera gràfica de la Figura 4.12, però si s'observa el segon gràfic, es veu que en aquest cas el comportament no és tan fidedigne a l'esperat com passava abans.

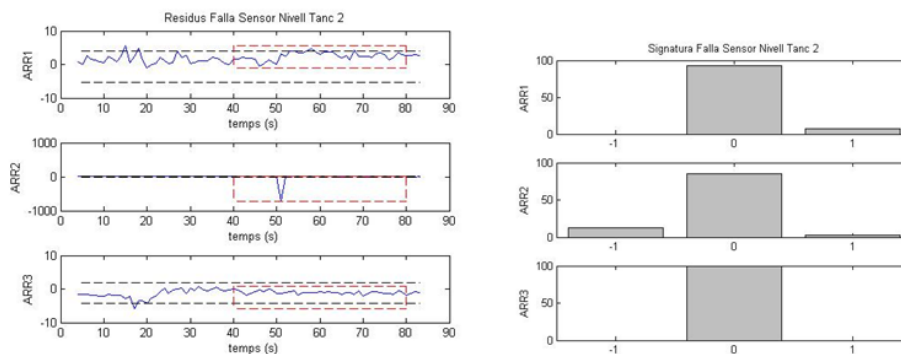


Figura 4.12: Residus i signatura de la falla en el sensor de nivell del tanc T2

Fallada en el sensor de cabal

A diferència de les 2 altres falles que es produïen en els sensors, en aquesta no s'ha produït una variació en la magnitud dels residus, cosa que permet observar clarament el comportament dels residus, que s'acaben ajustant a la signatura de la falla.

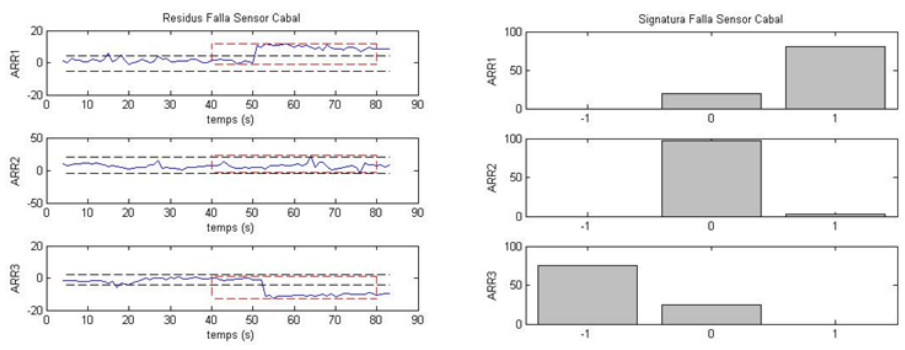


Figura 4.13: Residus i signatura de la falla en el sensor de cabal

Capítol 5

Detecció de falles en el sistema de laboratori en presència de retards en les comunicacions

Tot seguit s'exposarà una extensió de l'anàlisi estructural, que és el nucli d'aquest projecte: l'estudi dels retards en la comunicació que es produeixen entre el procés que s'analitza i l'ordinador on es realitza l'anàlisi. Primer de tot cal dir que en l'anàlisi estructural no es tenen en compte aquest tipus de retards, ja que es consideren prou petits com per considerar-se negligibles.

El que es farà a partir d'aquí és analitzar com afecten aquests retards a l'hora de detectar les falles a través de les equacions de redundància que s'han trobat i explicat en el capítol anterior. No es tornarà a realitzar l'anàlisi estructural perquè els retards no introdueixen cap restricció nova al sistema, ja que les restriccions que s'afegeixen fan referència al tractament que es realitzen de les dades que arriben, però que al seu torn, no formen part del model.

5.1 El muntatge del model de la planta

Abans de parlar dels efectes que tenen els retards a l'hora d'analitzar els residus de les equacions de redundància, s'exposarà el muntatge que hi ha present al laboratori i sobre el qual s'ha treballat. En el capítol 3, Descripció de la planta de laboratori, s'ha exposat breument el protocol que es segueix a l'hora d'obtenir les dades del procés en qüestió, que en aquest apartat s'ampliarà per tal de veure els efectes dels retards en la comunicació

entre el sistema i l'ordinador on s'avaluen els resultats dels residus.

Les Figures 5.2 i 5.1 presenten la tipologia de xarxa utilitzada en l'adquisició de dades del model simple i el dels 3 tancs, on es pot observar la presència d'un servidor que recull les dades del procés a través d'una xarxa Profibus, que al mateix temps és un servidor OPC, sobre el que es connecta l'ordinador encarregat de realitzar l'FDI, i on la connexió entre els 2 elements es realitza a través d'una xarxa Ethernet.

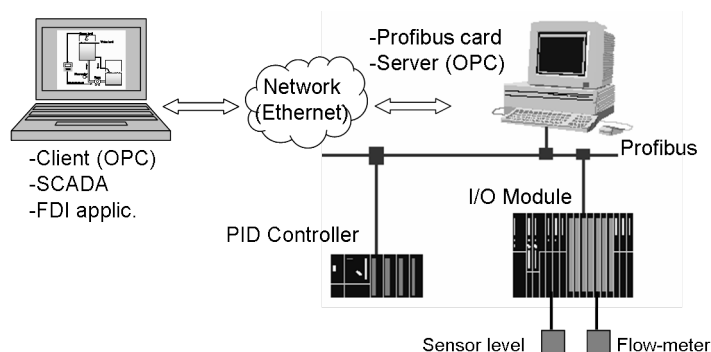


Figura 5.1: Sistema de comunicacions del model simple

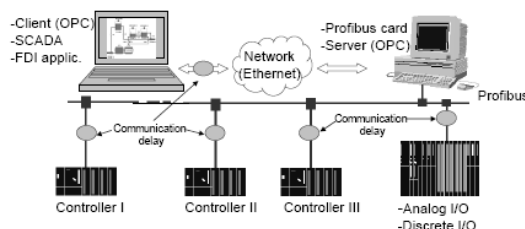


Figura 5.2: Muntatge del sistema d'obtenció de valors del model de planta

La metodologia utilitzada per a l'enviament de les dades del procés a l'ordinador que realitzarà l'anàlisi dels residus per al model simple, es basa en enviar les dades relacionades amb el nivell mesurat (nivell del tanc i derivada) de forma conjunta i en un altre paquet el valor del cabal. Tot i que aquesta estratègia provoca un major trànsit de paquets per la xarxa, permet que si un paquet es perd no es perdin totes les dades d'un sol instant de temps.

En el cas del sistema dels 3 tancs, la metodologia que s'ha seguit és lleugerament diferent. Es continuen enviant cadascuna de les diverses variables mesurades en paquets

diferents (nivell del tanc 2, nivell del tanc 3, cabal de la bomba), però en aquest cas el valor de la derivada es calcularà en l'ordinador encarregat de realitzar l'anàlisi. Aquesta decisió es va prendre perquè la dinàmica del sistema dels 3 tancs és més oscil·lant que la del model simple i que provocava que els residus no es veiessin afectats pels retards.

Per tant, l'efecte dels retards que s'estudiarà són aquells que introdueix la xarxa Ethernet degut a la saturació de la xarxa per la presència d'excussius paquets.

5.2 El problema dels retards en la detecció de falles

Un cop descrit el muntatge sobre el que es realitzarà l'estudi dels efectes dels retards, en aquest punt es parlarà de la problemàtica afegida per la presència dels retards.

5.2.1 Falses alarmes

Una falsa alarma, o fals positiu, es produeix quan en una situació on el residu hauria de ser zero, o en aquest cas, està situat en la zona de valors prou propers a zero, degut a errors introduïts artificialment en el sistema (retards en la recepció de les dades, soroll en els valors obtinguts o inconsistències del model) han provocat que els residus prenguin un valor diferent de zero.

Per tal d'il·lustrar aquesta situació s'adjunta a continuació la Figura 5.3, on es pot observar la presència d'una alarma per uns residus que haurien d'estar situats dintre els marges.

Tal com es veu en la Figura, la presència de retards no afecta de la mateixa manera dependent de l'estat on es trobi el sistema. El retard que ha provocat la falsa alarma es troba situada tot just després d'un canvi de consigna, mentre que els altres dos que no han provocat falses alarmes es troben situats respectivament en el sobrepic màxim i quan el sistema entra en temps d'estabilització.

Per sobrepic màxim s'entén el valor que pren el residu del sistema després de provocar una variació en el seu comportament. I el temps d'establiment és l'instant de temps en que el sistema comença a oscil·lar en un rang de valors situats un 10 % per sobre i per sota del nou valor de consigna.

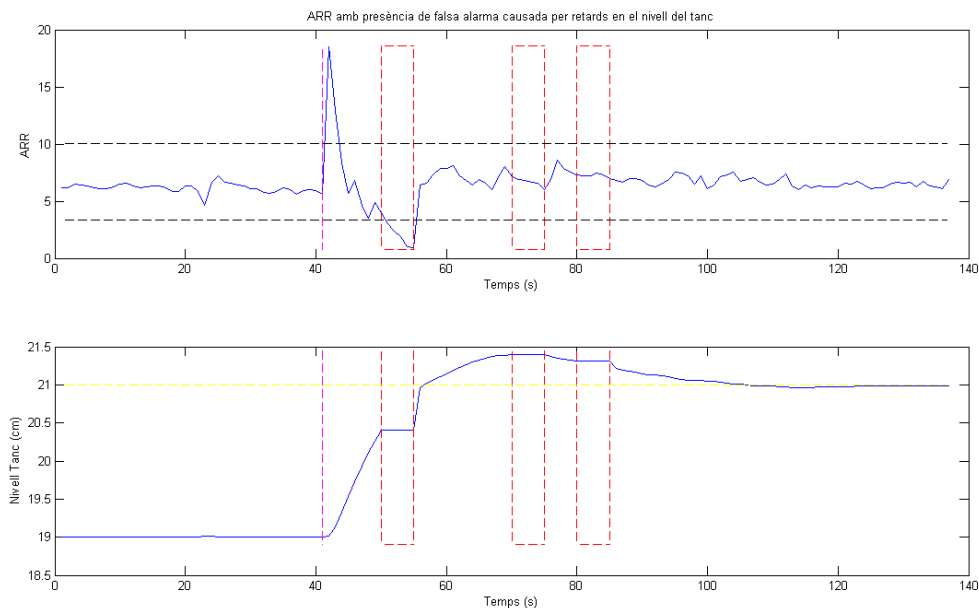


Figura 5.3: Aparició d'una falsa alarma per la presència dels retards

5.2.2 No detecció

La solució més habitual per evitar que la presència de falses alarmes acostuma a ser augmentar els llindars per a la detecció de falles en el sistema.

Però aquesta solució pot induir a que alarmes que amb els llindars originaris fossin detectables, ara no ho siguin. Aquesta problemàtica rep el nom de **no detecció**. Per tal de mostrar aquesta situació s'adjunta la Figura 5.4, on es veu que una falla que originàriament es detectava (juntament amb la falsa alarma) pel fet d'haver augmentat els llindars es deixa de detectar.

Com es pot observar, el fet d'haver augmentat el llindar de valors propers a zero a la zona de color cyan, ha provocat que una falla que abans detectàvem, ara per ometre les falses alarmes no es pugui detectar.

5.2.3 Diagnosi errònia

A diferència dels dos casos anteriors, aquesta falla no té a veure amb la modificació dels llindars per a la detecció d'anomalies. En aquest cas, l'efecte dels retards pot provocar que el fet de no disposar d'una dada actual provoqui una modificació en la dinàmica dels

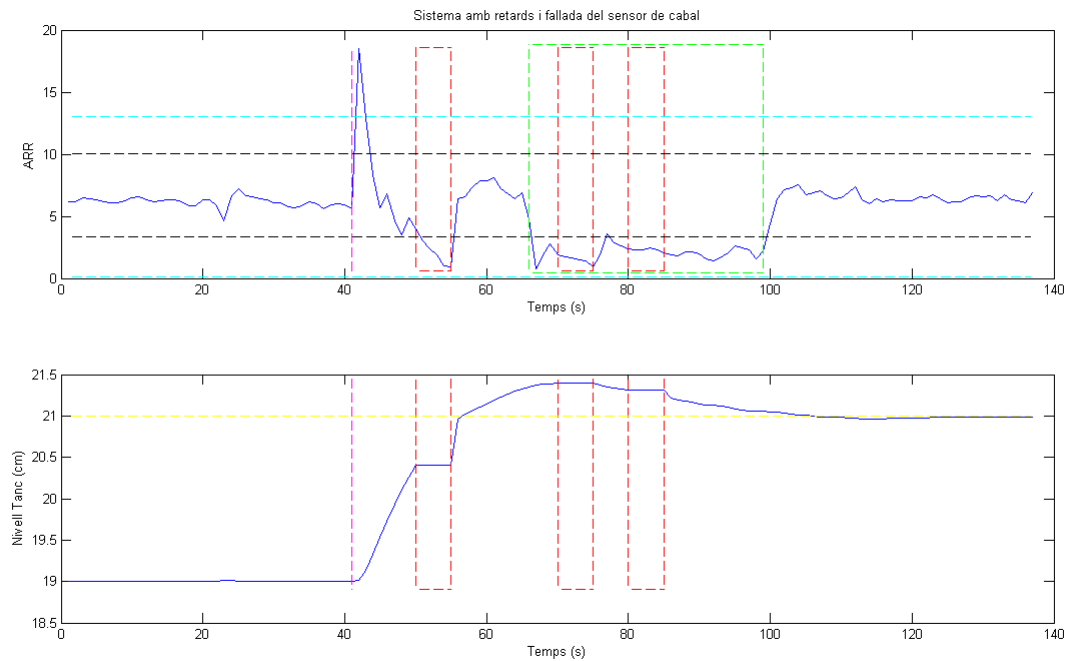


Figura 5.4: No detecció d'una alarma per l'augment dels llindars

residus sota la falla originària, provocant que al veure els residus obtinguts, aquests es corresponguin a una falla totalment diferent a la que s'està detectant.

Per tal d'illustrar aquest punt, es mostra la Figura 5.5, on es pot veure que mentre duren els retards, una falla del sensor de cabal, es confondrà amb una falla del sensor de nivell del tanc T3.

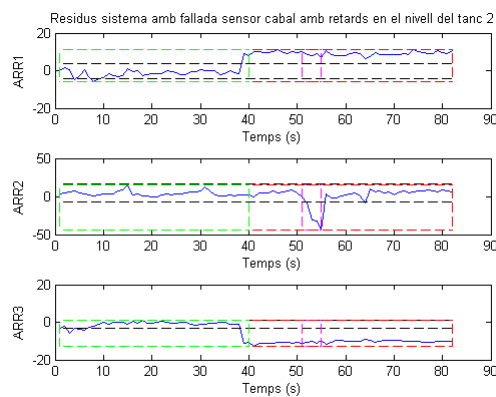


Figura 5.5: Diagnosi errònia per la presència de retards

5.3 Efecte dels retards en l'aïllament de falles

Un cop presentats els efectes teòrics que introdueixen els retards a l'hora d'analitzar els residus obtinguts del sistema, es mostraran una sèrie de resultats amb les falles que s'estudien sobre els models estudiats (model simple i dels 3 tancs).

A cadascuna de les figures que es presentaran, a la part de més a l'esquerra es troba els residus del sistema amb la presència de retards, a la part central es troba la signatura que s'obté amb en aquesta situació i a la part de més a la dreta es pot veure la signatura del sistema sense presència de retards.

Pel que fa als retards que afectaran al model simple i degut a que les equacions de redundància depenen de 2 valors, es presentaran els resultats per a les 3 situacions estudiades (condicions normals, falla del sensor de nivell i falla del sensor de cabal) quan es produeixen retards en les 2 variables mesurades del model.

Per al sistema dels 3 tancs, en canvi els resultats que es mostraran corresponen a la presència de retards en el nivell del tanc 2, ja que després de realitzar un estudi sobre quines són les variables amb més pes a l'hora de calcular els residus, s'ha determinat que les dues variables mesurades del nivell dels tancs són les més determinants.

5.3.1 El model d'un sol tanc

Sistema en condicions normals amb retards en el nivell

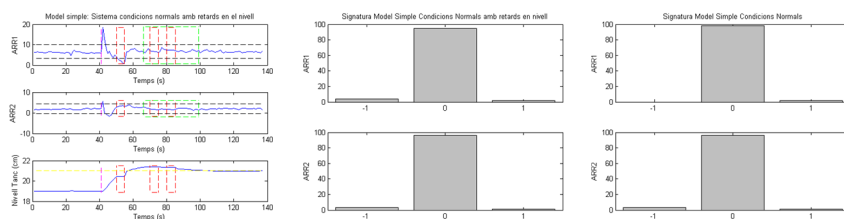


Figura 5.6: Residus i signatures del sistema en condicions normals amb retards en el nivell

La presència de retards quan el sistema intenta assolir la nova consigna ha provocat que una sèrie de residus es trobin per sota del llindar de zero. Aquest fet provoca que durant uns instants de temps es diagnostiqui una falsa alarma que es detectaria com a una falla en el sensor de nivell.

Sistema en condicions normals amb retards en el cabal

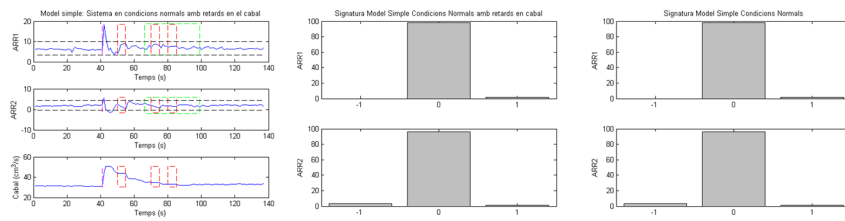


Figura 5.7: Residus i signatures del sistema en condicions normals amb retards en el cabal

La presència de retards en els valors de cabal no provoca una modificació prou important perquè els residus surtin de la zona de zeros.

Fallada en el sensor de nivell amb retards en el nivell

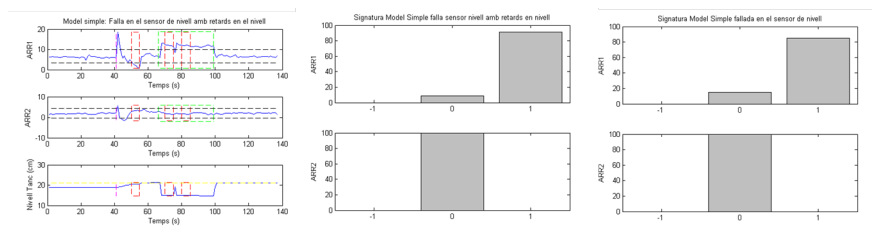


Figura 5.8: Residus i signatures del sistema amb fallada del sensor de nivell i amb retards en el nivell

En aquest cas, la introducció de retards només provoca una accentuació dels valors que es troben per la part inferior de la zona de zeros.

Fallada en el sensor de nivell amb retards en el cabal

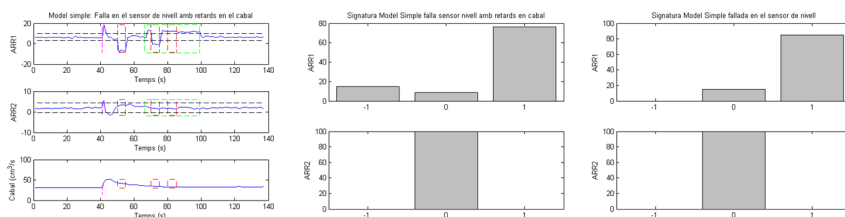


Figura 5.9: Residus i signatures del sistema amb fallada del sensor de nivell i amb retards en el cabal

La presència de retards en aquest cas ha provocat una falsa alarma abans de que es produís la veritable falla tot i que aquesta falsa alarma es corresponia amb la falla que s'ha produït posteriorment.

Fallada en el sensor de cabal amb retards en el nivell

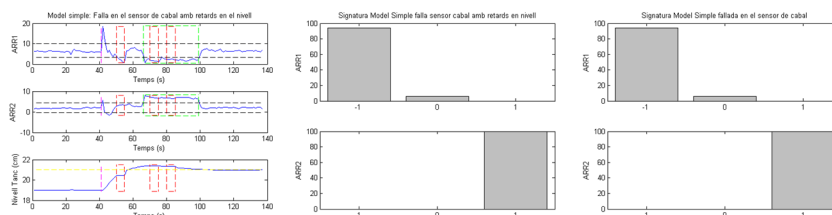


Figura 5.10: Residus i signatures del sistema amb fallada del sensor de cabal i amb retards en el nivell

La presència de retards en aquesta falla no ha provocat una variació massa apreciable de la dinàmica dels residus quan no hi ha retards.

Fallada en el sensor de cabal amb retards en el cabal

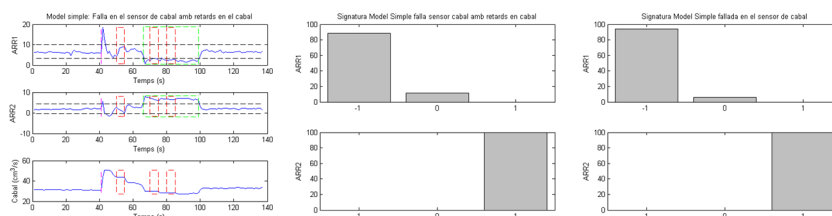


Figura 5.11: Residus i signatures del sistema amb fallada del sensor de cabal i amb retards en el cabal

L'aparició de retards en aquesta falla no ha provocat una variació prou apreciable en els residus que s'acabés traduint en una sèrie de valors per fora de la zona de zeros.

5.3.2 El benchmark dels 3 tancs

Sistema en condicions normals

La introducció d'una sèrie de retards en l'instant de temps de l'11 al 15 ha provocat que durant aquesta situació es produís un seguit de residus per fora de la zona de zeros (més exactament per sota del llindar). Això s'ha traduït en un seguit de valors a la signatura de

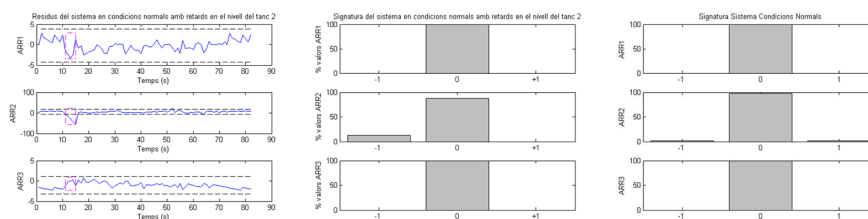


Figura 5.12: Residus i signatures del sistema en condicions normals amb retards

valors a la zona per sota del llindar, derivant en una falsa alarma que s'hagués diagnosticat com que la vàlvula VR1 es troba obstruïda.

Gotera en el tanc T3

Tal com ha succeït en el cas anterior, la introducció dels retards ha provocat que una sèrie de valors se situessin per fora del llindar de la zona zero, al mateix temps que durant uns instants de temps la fallada de gotera en el tanc T3 s'ha convertit en una falla causada per l'obstrucció de la vàlvula VR1.

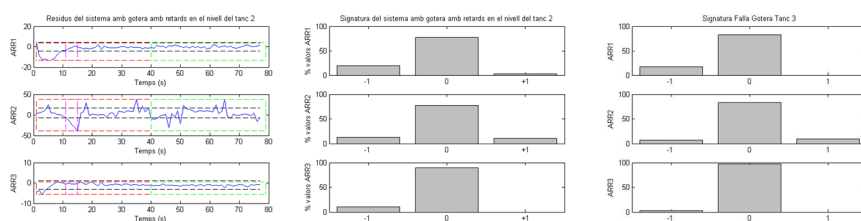


Figura 5.13: Residus i signatures del sistema amb gotera en el tanc T3 i amb retards

Bloqueig de la bomba B3

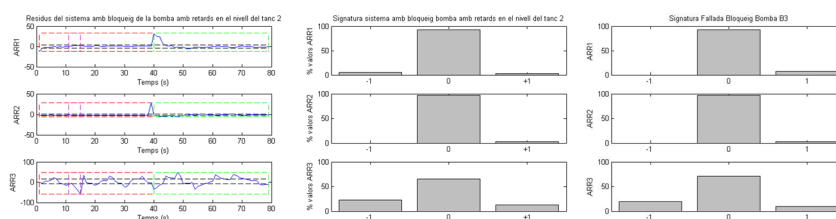


Figura 5.14: Residus i signatures del sistema amb bloqueig de la bomba B3 i amb retards

En aquest cas, la introducció dels retards només ha provocat una lleugera accentuació

de valors per sota del llindar de la zona de zero, però en cap moment s'ha produït una diagnosi errònia.

Vàlvula V10 Tancada

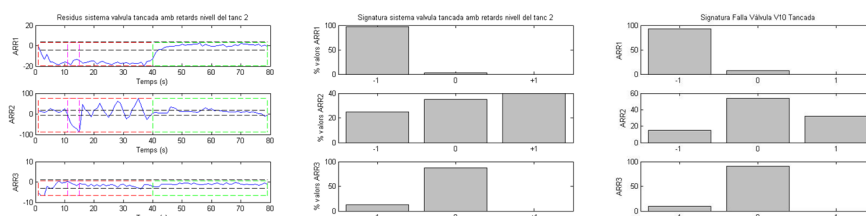


Figura 5.15: Residus i signatures del sistema amb vàlvula V10 tancada i amb retards

Tal com succeïa amb l'escenari anterior, la presència de retards només ha provocat que aparegui una sèrie de valors més per sota del llindar inferior de la zona de zeros, però no ha provocat cap canvi en el diagnosi de la falla.

Vàlvula VR1 Obstruïda

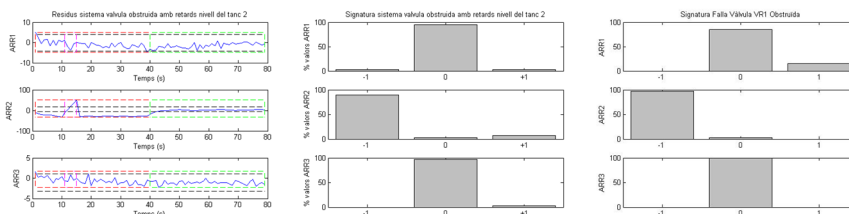


Figura 5.16: Residus i signatures del sistema amb obstrucció de la vàlvula VR1 i amb retards

La presència de retards en aquesta falla només provoca una major accentuació de valors per sota de la zona de zero, però no es produeix cap diagnosi erroni.

Fallada en el sensor de nivell del tanc T3

En aquest cas, la introducció de retards provoca que durant la presència de retards provoca que la signatura de la falla (si es compara amb la matriu de signatures teòrica) com si la vàlvula V10 es trobés tancada. Si es compara la signatura en aquests instants de temps amb la proposta de matriu de signatures per al diagnosi, llavors no es podria dir de quina falla s'està produint.

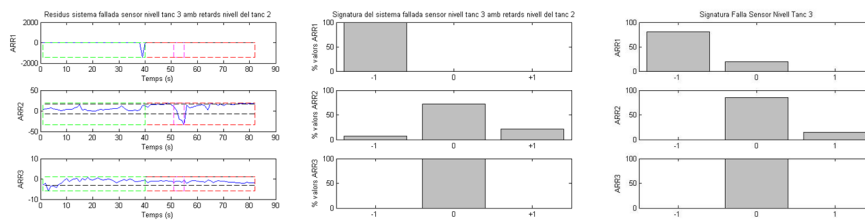


Figura 5.17: Residus i signatures del sistema amb fallada del sensor de nivell del tanc T3 i amb retards

Fallada en el sensor de nivell del tanc T2

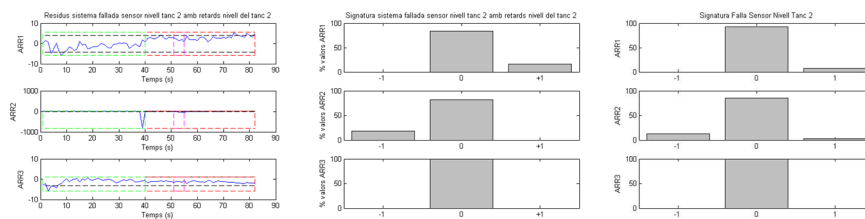


Figura 5.18: Residus i signatures del sistema amb fallada del sensor de nivell del tanc T2 i amb retards

En aquest cas, la presència de retards en les variables no ha provocat cap variació significativa en el comportament dels residus de les equacions de redundància.

Fallada en el sensor de cabal

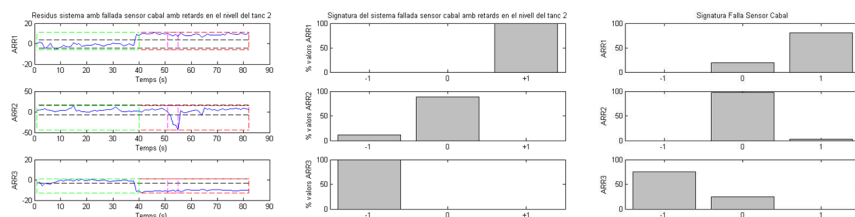


Figura 5.19: Residus i signatures del sistema amb fallada del sensor de cabal i amb retards

En aquesta falla, mentre hi ha presència de retards es produeix una diagnòsi errònia, confonent-se la signatura amb la de falla en el sensor de nivell del tanc T3.

El fet d'introduir una falla en les dades de nivell d'un tanc provoca que si es calcula la derivada d'aquesta variable, sigui zero, afectant de forma clara al residu. Però aquest

fet provoca que la presència d'un retard tingui una signatura habitual.

Per contra, si els retards no s'apliquen a una variable a la qual se li calculi la derivada, els retards no provoquen un canvi significatiu dels residus. Aquest fet es podria solucionar utilitzant un sensor que enviés al mateix temps la dada de nivell del temps actual i la derivada del valor.

Capítol 6

Tècnica per reduir els efectes dels retards en la detecció de falles

En el capítol anterior s'ha introduït l'efecte que provoca l'aparició de retards en la comunicació entre el servidor de dades i l'ordinador que realitza l'anàlisi dels residus. Tot seguit es mostra la solució proposada per tal de reduir aquests efectes, i que ve a ser una alternativa al fet d'augmentar els llindars de detecció, per tal d'evitar el problema de la no detecció.

6.1 Conceptes

Donada la tipologia dels retards que es volen estudiar, la seva aparició es deurà a la saturació que presenta la xarxa pel fet del trànsit d'un gran nombre de paquets.

El model de retards que s'ha adoptat ve determinat per un nombre màxim de paquets perduts de forma consecutiva que es pot considerar admissible. Aquest valor s'ha calculat a partir de la realització d'un conjunt d'experiments provocant que la xarxa es saturés. A partir d'aquestes dades s'ha calculat el nombre de paquets màxims que es poden perdre amb un interval de confiança del 95 % dels diversos valors dels experiments obtenint un valor concret.

Un cop es disposa del model que determinarà la presència dels retards, falta determinar quin serà el comportament del sistema a l'hora d'actuar quan s'adona de que no li ha arribat la última dada del model. L'opció escollida és que quan es produeix un retard, la dada que no ha arribat es perd, ja que el destinatari no l'ha rebuda. El fet de

no disposar d'una dada provoca que el sistema de control recuperi l'última dada de que disposa. A mode d'exemple es presenta la Figura 6.1, on es pot veure exactament la dada que s'utilitza a cada instant de temps.

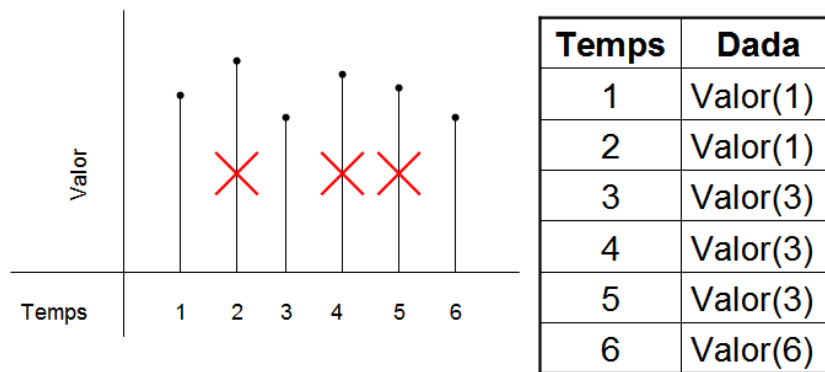


Figura 6.1: Aparició d'una falsa alarma per la presència dels retards

Finalment, se suposa que la presència d'un retard provocarà que els residus del sistema presentin un valor anòmal (per sobre o sota dels llindars de pertinença a zero), fet que permetrà la distinció de si una seqüència de valors per fora dels llindars és causa dels retards en les comunicacions (un valor inferior al nombre màxim de retards consecutius) o una fallada en el sistema (un valor per sobre del nombre màxim de retards).

6.2 Metodologia implementada

La idea bàsica de la implementació proposada es basa en que conegut el nombre màxim de retards consecutius que es poden donar en el sistema, es dimensiona una finestra lliscant amb una dimensió del nombre màxim de retards consecutius considerats possibles incrementat en un. Sempre que arribi un valor per sobre de la zona de zero, es considera que la causa és la presència d'un retard, ja que se suposa que la probabilitat d'aparició d'una falla és inferior a la probabilitat que hi hagi un retard que ens provoqui la pèrdua d'una dada. Tot seguit es presenta la Figura 6.2, on es pot veure el pseudocodi de la solució proposada.

```

FUNCIO  $v_0 = \text{reduirRetards}(v_{-1}, r_0, ls, li, n\_retards, max\_retards)$ 
  SI  $\text{no\_zero}(r_0, ls, li)$ 
     $n\_retards = \text{incrementar}(n\_retards)$ 
    SI  $n\_retards > max\_retards$ 
       $v_0 = r_0$ 
       $n\_retards = 0$ 
    ALTRAMENT
       $v_0 = v_{-1}$ 
    FISI
  ALTRAMENT
     $v_0 = r_0$ 
  FISI
FIFUNCIO

```

Figura 6.2: Pseudocodi de la solució implementada

On:

v_0 : Valor del residu de l'instant actual.

v_{-1} : Valor del residu de l'instant anterior.

r_0 : Valor calculat del residu actual.

ls : Valor del llindar superior de la zona de zero.

li : Valor del llindar inferior de la zona de zero.

$n_retards$: Nombre de retards consecutius.

$max_retards$: Nombre màxim de retards consecutius.

Sempre que arriba una dada, el primer que es fa és comprovar si el seu valor pertany a la zona de zeros. Si és aquest el cas, llavors el valor de residu que es retorna és el de l'instant anterior, ja que es considera més probable que hi hagi un retard en la xarxa que es produeixi una falla. Per contra, si el valor no pertany a aquesta zona (es troba per sobre del llindar superior o per sota del llindar inferior), s'incrementa el nombre de retards consecutius.

Si aquest valor és superior al nombre màxim de retards que es consideren habituals en la xarxa, el valor de residu actual és el mateix que s'ha calculat, ja que a partir d'aquest instant es considera més probable que els valors anòmals siguin causats per la presència d'una falla.

En canvi, si es dona el cas que encara no s'han superat el nombre màxim de retards,

es retorna el valor anterior que s'ha retornat, ja que es considera encara prou probable que la causa de valors fora de la zona de zeros sigui causa dels retards.

Per tal d'aplicar aquesta tècnica en temps real s'utilitza un mecanisme de finestra lliscant que utilitza els $n_retards - 1$ valors anteriors a la dada actual, juntament amb la dada actual. En el cas dels 2 processos, el valor que s'ha determinat per a $n_retards$ és 4, ja que si es vol que un 95% de nombre de retards quedin dins la distribució, s'ha d'arribar a 4 retards consecutius. El fet d'utilitzar aquesta tècnica introdueix dues limitacions a l'hora d'analitzar els residus:

- No podem detectar fallades que tinguin una duració inferior al tamany de la finestra lliscant.
- S'endarrereix el procés de detecció de falles fins que aquestes no superen el tamany de la finestra lliscant.

Aquestes dues limitacions venen propiciades pel fet de treballar amb probabilitats d'aparició de retards i de falles. Tot seguit, es presenta un exemple del funcionament de la tècnica en la Figura 6.3, amb un tamany de la finestra de 3, cosa que indica que el nombre de retards consecutius que es consideren habituals és 2.

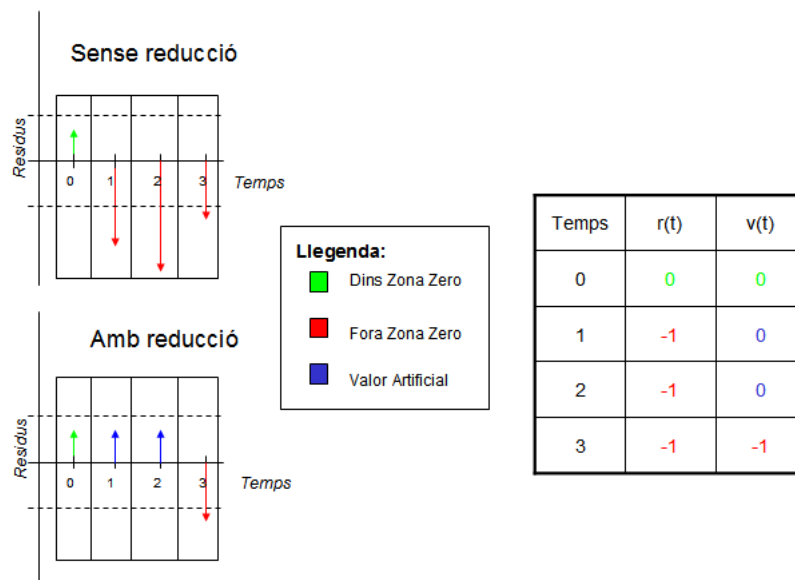


Figura 6.3: Exemple del funcionament de la metodologia

Tal com es pot observar, a l'instant 1 es detecta un valor per sota de la zona de zeros, si es miren els valors anteriors, es veu que aquest és el primer valor per fora de la zona de

zero, considerant-se un retard i traient el valor anterior. A l'instant 2 torna a aparèixer un valor per fora dels llindars, i com que encara no s'ha arribat al màxim de retards consecutius, es torna a retorna el valor anterior (que en aquest cas correspondria al valor real a l'instant de temps 0). A l'instant 3 torna a arribar un valor que no es considera prou proper a zero, però a diferència dels 2 casos anteriors aquesta vegada s'ha arribat al màxim de valors consecutius no zero, moment a partir del qual es considera la causa una falla, i per tant es treu el valor de residu que s'ha calculat en aquest instant de temps.

6.3 Resultats de l'aplicació de la tècnica

En aquest apartat es presenten un seguit de resultats obtinguts per als dos models que s'han estudiat durant la realització del projecte. Tal com succeïa en el capítol anterior, es mostraran 3 gràfiques per cadascuna de les situacions que es mostren resultats: la gràfica de l'esquerra correspon als residus del sistema amb retards, la part central representa els residus un cop s'ha aplicat la tècnica de reducció dels efectes dels retards. Finalment, a la part de la dreta es pot veure els residus del sistema quan no es produïen retards.

6.3.1 Model simple

Com a nota comú en tots els casos, el fet d'aplicar la tècnica proposada per a la reducció dels retards té un efecte col·lateral com és l'eliminació dels valors que es deuen a la introducció del canvi de consigna. El fet és que aquest efecte es pot arribar a considerar positiu, ja que s'ha eliminat una falsa alarma que tenia el sistema per aquest fet.

Pel que fa a les situacions sota falla, l'efecte que s'ha introduït, i tal com s'ha comentat anteriorment, això provoca que s'introdueixi un petit endarreriment a l'hora de la seva detecció.

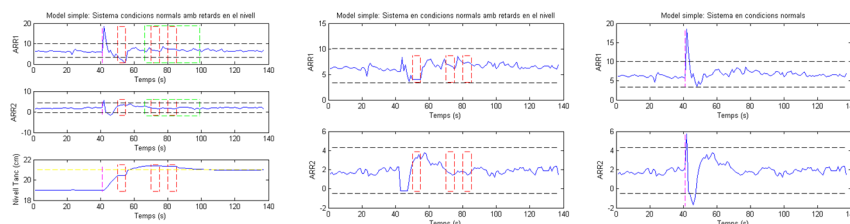


Figura 6.4: Residus del sistema en condicions normals amb retards en el nivell

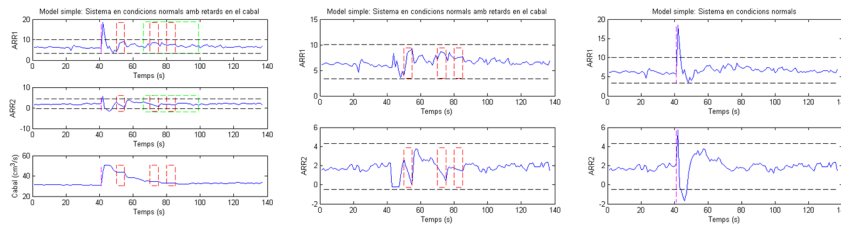


Figura 6.5: Residus del sistema en condicions normals amb retards en el cabal

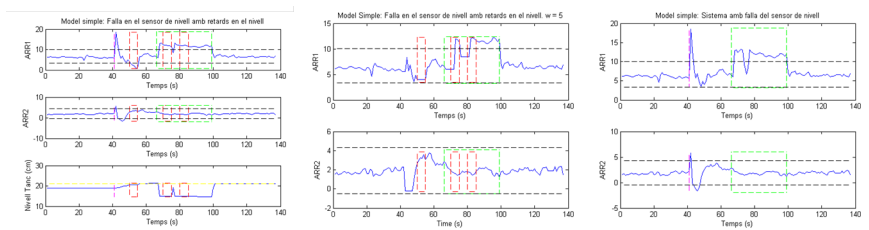


Figura 6.6: Residus del sistema amb falla del sensor de nivell i retards en el nivell

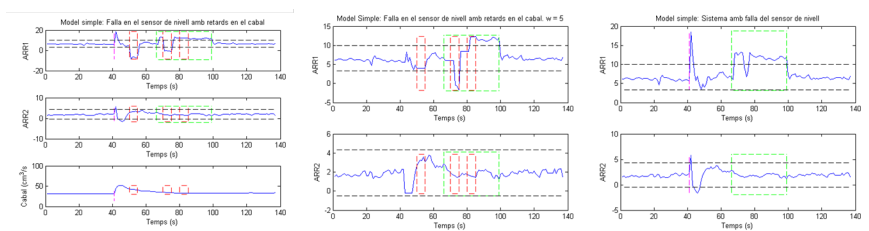


Figura 6.7: Residus del sistema amb falla del sensor de nivell i retards en el cabal

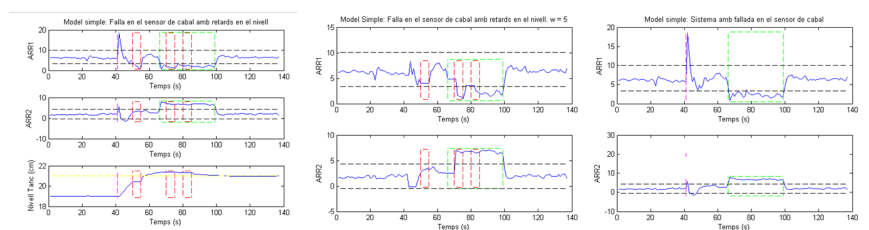


Figura 6.8: Residus del sistema amb falla del sensor de cabal i retards en el nivell

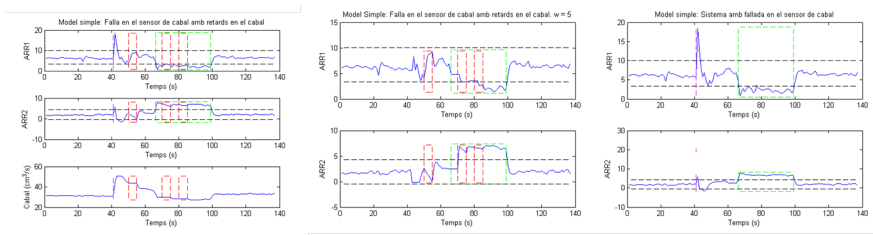


Figura 6.9: Residus del sistema amb falla del sensor de cabal i retards en el cabal

6.3.2 Model dels 3 tancs

Sistema en condicions normals

L'aplicació de l'algoritme ha propiciat l'eliminació dels valors per fora de la zona de zero, fent que la falla es correspongui amb la seva signatura, així com la dinàmica dels residus segueixi la mateixa que quan en el sistema no hi ha retards.

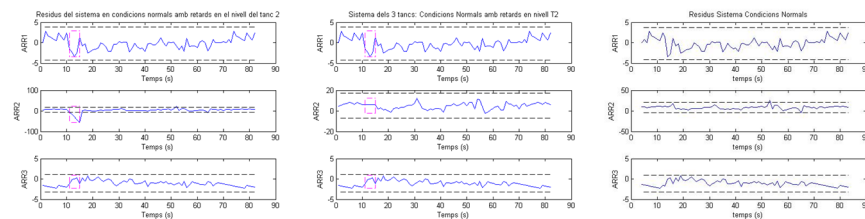


Figura 6.10: Residus del sistema en condicions normals amb retards

Gotera en el tanc T3

Tal com succeïa en el cas anterior, l'aplicació de la tècnica permet reconèixer la signatura de la falla que s'està produint.

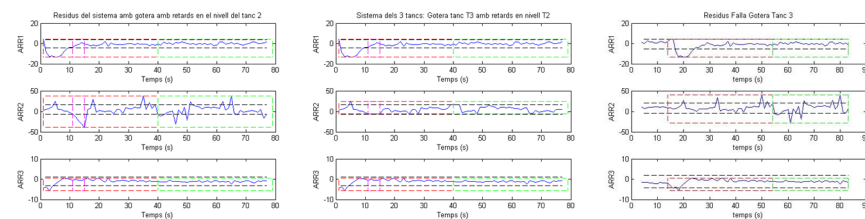


Figura 6.11: Residus del sistema amb gotera en el tanc T3 i amb retards

Bloqueig de la bomba B3

El fet d'aplicar l'algoritme no només permet distingir l'aparició de la falla amb la seva corresponent signatura, sinó que també provoca que la matriu de signatures per a l'aïllament se li pugui assignar un valor de +1, corresponent a que els valors quan surten de la zona de zero, sempre es troben per sobre del llindar superior.

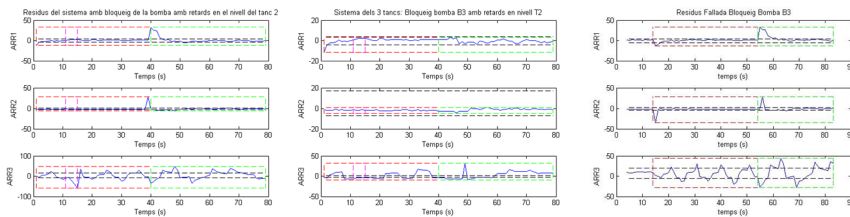


Figura 6.12: Residus del sistema amb bloqueig de la bomba B3 i amb retards

Vàlvula V10 Tancada

En aquesta situació, el fet d'aplicar la tècnica de reducció permet distingir la signatura de falla en algunes situacions, però la majoria de vegades no es compleixi la signatura al 100 %.

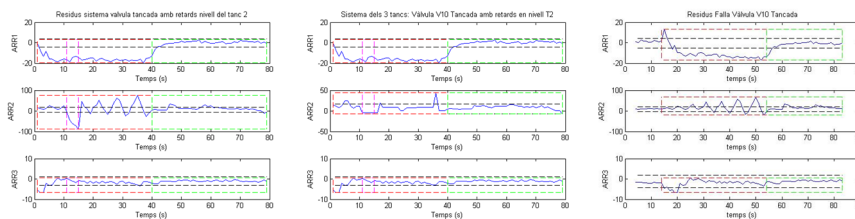


Figura 6.13: Residus del sistema amb vàlvula V10 tancada i amb retards

Vàlvula VR1 Obstruïda

El fet d'aplicar la tècnica de reducció ha provocat que els residus de la segona equació se situïn tots dins la zona de zeros, fent que es perdi per complet la relació amb la signatura de la falla.

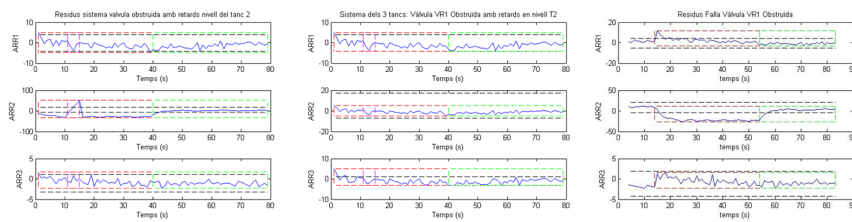


Figura 6.14: Residus del sistema amb obstrucció de la vàlvula VR1 i amb retards

Fallada en el sensor de nivell del tanc T3

L'aplicació de la tècnica de reducció ha provocat una reducció de la magnitud de l'error inicial, fet que permet observar clarament el comportament del residu de la primera equació i que es comporta de la mateixa forma com indica la signatura de la falla. Però pel que fa a la segona equació, la seva utilització ha provocat que els pocs valors que sortien de la zona de zeros quedin inclosos, perdent la signatura en aquesta equació.

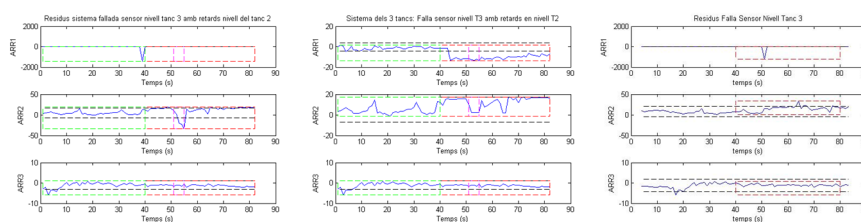


Figura 6.15: Residus del sistema amb fallada del sensor de nivell del tanc T3 i amb retards

Fallada en el sensor de nivell del tanc T2

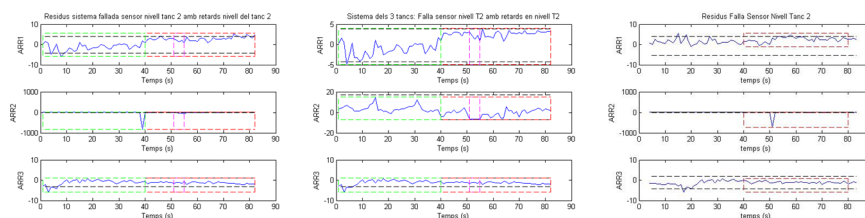


Figura 6.16: Residus del sistema amb fallada del sensor de nivell del tanc T2 i amb retards

L'ús de la tècnica de reducció dels efectes dels retards ha provocat que els pocs valors que sobresortien de la zona de zero de l'equació 2 hi quedin inclosos, tot i que permet veure el comportament dels residus de forma més clara. Anàlogament, al cas anterior, els

valors de l'equació 1 també han quedat inclosos dins el rang de valors que es consideren 0, resultant en que la signatura dels residus és la mateixa que la del sistema en condicions normals.

Fallada en el sensor de cabal

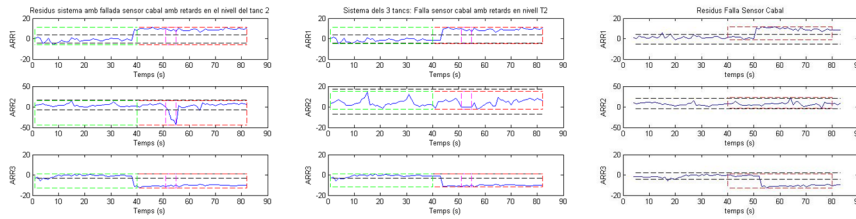


Figura 6.17: Residus del sistema amb fallada del sensor de cabal i amb retards

La utilització de la reducció ha provocat que els pocs valors que no es trobaven inclosos dins la zona de zeros, se situïn dins d'aquesta pels valors dels residus de l'equació 3. L'efecte de la tècnica en la resta d'equacions no els ha afectat en res.

Capítol 7

Aplicacions i Interfícies

En aquest capítol es presenten cadascuna de les interfícies que s'han implementat durant el transcurs d'aquest projecte, exposant les seves principals característiques, així com algunes captures per veure l'aspecte que prenen. Per una informació més detallada es pot consultar l'Annex 1, on es troba el manual d'usuari de cadascuna de les interfícies aquí comentades.

7.1 La implementació

Totes les interfícies implementades en aquest projecte s'han programat utilitzant l'editor d'interfícies gràfiques de Matlab (GUIDE). Aquesta eina permet el disseny d'interfícies d'una forma visual i senzilla.

S'ha triat el llenguatge Matlab perquè els models amb que s'havia de treballar, tot i que després s'han implementat uns scripts per controlar el correcte funcionament dels models, s'havien realitzat sobre Simulink, una eina que incorpora Matlab per al disseny de sistemes utilitzant blocs funcionals.

Un cop dit el llenguatge utilitzat per a la implementació de cadascuna de les interfícies, es passarà a descriure cadascuna de forma més detallada, tot mostrant la idea o funcionalitat bàsica que pretén solucionar, així com les diverses opcions que permeten acabant per un seguit de captures de pantalla mostrant l'aspecte que pren cadascuna d'elles.

7.2 Interfície didàctica

7.2.1 Idea

Aquesta va ser la primera interfície implementada i neix amb la idea de servir com a base introductòria del model sobre el qual es treballarà. Consta d'un mòdul principal, utilitzat per a la navegació de cadascun dels diversos apartats de que consta. A mesura que es van seleccionar botons, van apareixent nous mòduls amb explicacions o imatges relacionades amb l'apartat triat.

7.2.2 Opcions

Per tal de mostrar les diverses opcions disponibles, es presenta el següent diagrama de casos d'ús amb les principals funcionalitats accessibles des del mòdul principal, així com un nivell de profunditat de cadascun dels mòduls secundaris que pegen dels mòduls principals, i que es troben a la Figura 7.1.

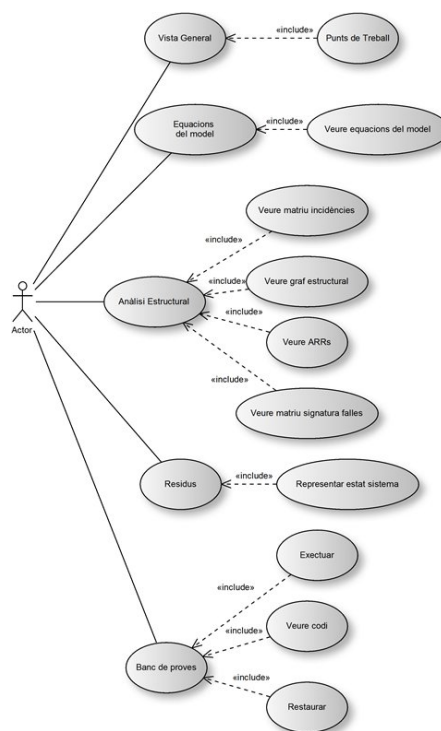


Figura 7.1: Exemple del funcionament de la metodologia

Tal com es pot veure en el diagrama de casos d'ús, des de la pantalla principal es pot accedir a les principals funcionalitats de la interfície, que tot seguit es descriuen de forma

breu:

- Vista General. Serveix per donar una vista per sobre del model dels 3 tancs, així com dels diversos punts de treball que es poden donar en el sistema.
- Equacions del model. Mostra les restriccions a partir de les quals es realitzarà l'anàlisi estructural del model.
- Anàlisi Estructural. Part central de la interfície, que va passant per cadascuna de les fases que es donen en aquest procés (formació de la matriu d'incidències, creació del graf estructural, obtenció de les equacions de redundància), així com una part on es mostra la matriu de signatura de falles proposada en aquest projecte per a l'aïllament de falles.
- Residus. La seva utilitat és la de mostrar els diversos estats en que es pot trobar el sistema que es tenen en compte en aquest projecte.
- Banc de proves. Utilitat perquè l'usuari introdueixi un fitxer .m que contindrà un codi a executar i opcionalment un fitxer .mat on es continguin les variables necessàries per a l'execució del codi. La principal funcionalitat és que l'usuari pugui observar els resultats obtinguts amb diverses equacions de redundància sense necessitat d'alterar la interfície de visualització.

Per més informació referent a cadascuna de les parts que conformen aquesta interfície es pot consultar l'annex a aquesta memòria, on es troba el manual d'usuari d'aquesta i les altres interfícies.

Un cop presentades les diverses funcionalitats que té aquesta interfície didàctica, es passarà a mostrar un seguit de pantalles de la interfície, per a la visualització de cadascuna dels mòduls que conformen la interfície.

7.2.3 Pantalles

Degut al gran nombre de pantalles de que consta la interfície en aquest apartat només mostrem la pantalla principal de la interfície didàctica, així com la pantalla dedicada a l'anàlisi estructural (Figura 7.2) i les diverses pantalles que pegen de l'anàlisi estructural (Figura 7.3).

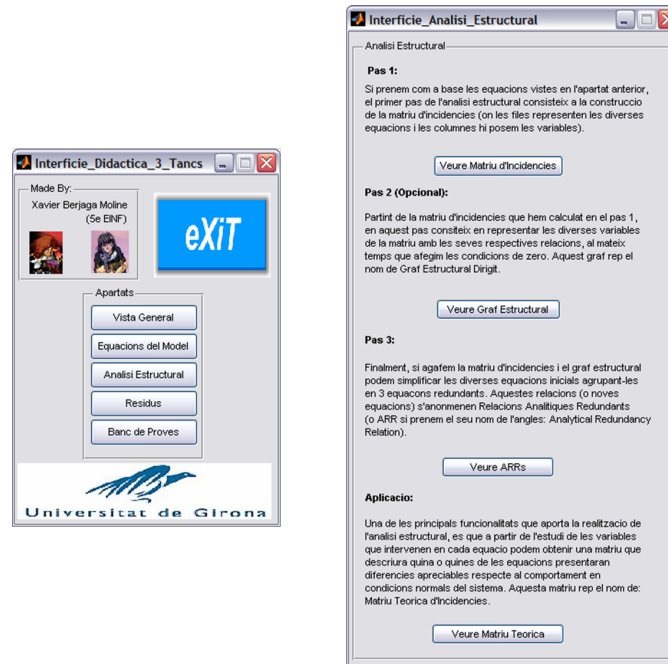


Figura 7.2: Pantalla principal de la interfície didàctica (esquerra) i apartat dedicat a l'anàlisi estructural (dreta)

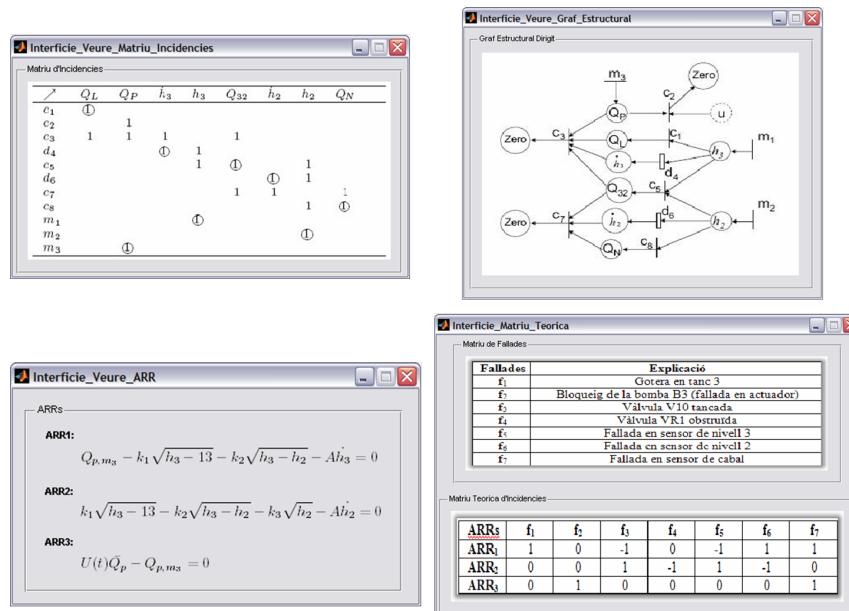


Figura 7.3: Pantalles de l'anàlisi estructural que pegen de l'anàlisi estructural

7.3 Interfície interactiva

7.3.1 Idea

La segona interfície implementada durant el transcurs del projecte, la funcionalitat de la qual és donar accés a cadascuna de les funcionalitats relacionades amb l'estudi del sistema dels 3 tancs (sense presència de retards, amb presència de retards sense atenuar-ne els efectes i amb l'aplicació de la tècnica per a la reducció dels efectes dels retards) perquè l'usuari vagi realitzant proves sense haver de modificar el codi de proves, a part de que no hagi de conèixer el funcionament del sistema.

7.3.2 Opcions

El diagrama de casos d'ús que representa les principals funcionalitats d'aquesta interfície es pot veure en la Figura 7.4.

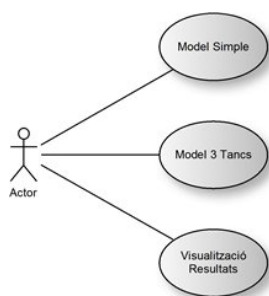


Figura 7.4: Diagrama de casos d'ús de les funcionalitats de la Interfície Interactiva

Tal com es pot observar, la interfície consta de tres funcionalitats que es passen a comentar a continuació:

- **Model Simple.** Conjunt de funcions per representar els diversos estats en que es pot trobar el model s'un sol tanc perquè l'usuari pugui triar les característiques.
- **Model dels 3 Tancs.** Conjunt de funcions per treballar amb el model dels 3 tancs, i que permet la configuració de paràmetres de representació a gust de l'usuari.
- **Visualitzar Resultats.** Apartat que recull els diversos resultats que s'han anat presentant en aquesta memòria, agrupats per tal de que serveixin d'exemple a l'hora de treballar amb els dos models.

Un cop presentats les principals funcionalitats, es mostraran els diagrames d'activitat de cadascuna de les parts en que es pot dividir aquesta interfície per tal de veure'n millor

el funcionament.

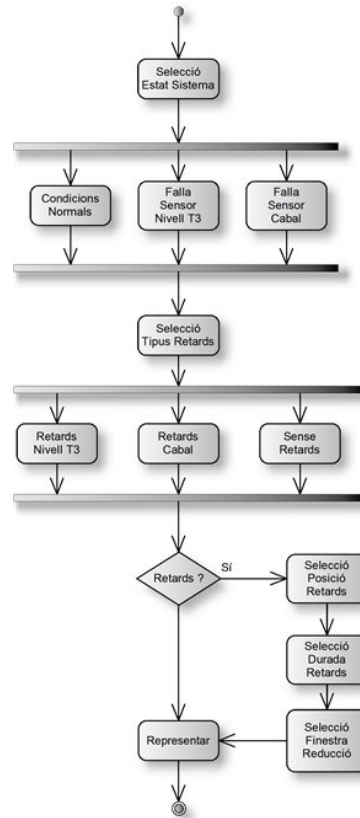


Figura 7.5: Diagrama d'activitat per al Model Simple de la Interfície Interactiva

El funcionament bàsic del mètode que es dedueix del diagrama d'activitat de la Figura 7.5 consisteix en triar l'estat en que es vol que estigui el sistema (Condicions Normals o en presència d'alguna de les falles amb que es pot treballar), a continuació triar sobre quina variable mesurable del sistema es vol aplicar els retards i finalment, si s'han introduït retards, seleccionar el tamany de la finestra del mètode per a la reducció dels retards.

Tal com es pot observar en la Figura 7.6, el funcionament d'aquest apartat és el mateix que per al model d'un sol tanc, amb la única modificació de la introducció de les diverses falles amb que es treballa en aquest model.

Com es veu en la Figura 7.7, el procediment a seguir en aquesta funcionalitat consisteix a triar el model del que es volen veure els resultats (Model Simple o Model dels 3 Tancs), a continuació triar si es volen retards en el sistema, i finalment triar l'estat del sistema (Condicions Normals o presència d'algun tipus de falla).

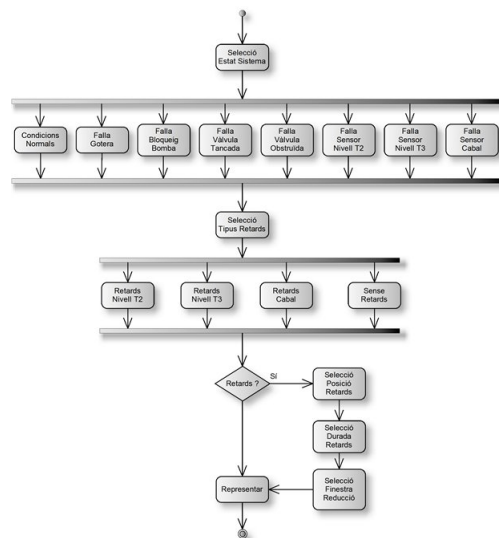


Figura 7.6: Diagrama d'activitat per al Model dels 3 Tancs de la Interfície Interactiva

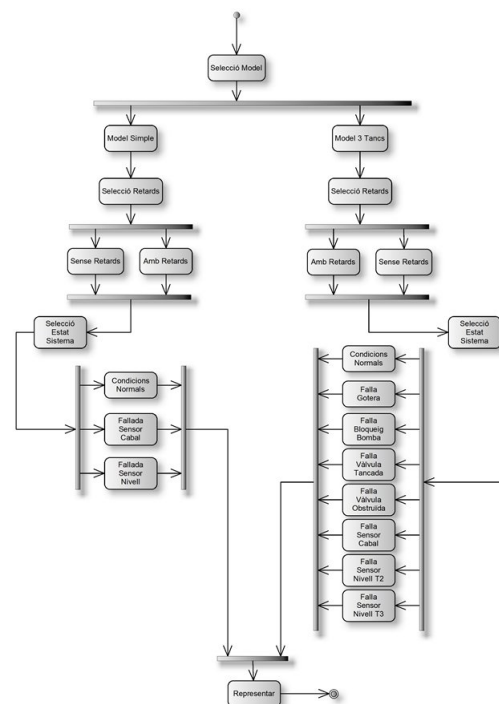


Figura 7.7: Diagrama d'activitat per a la representació dels resultats de la Interfície Interactiva

Un nexa comú entre els 3 subapartats és que sempre que es tria la presència de retards, es mostren els resultats que s'obtenen amb la tècnica de reducció dels efectes dels retards. Aquest fet es deu a que s'aprofita que no es modifiquen els residus originals, a l'hora que

permet comparar d'una forma més simple els efectes que tenen els retards en cadascuna de les situacions en que es pot trobar el sistema.

7.3.3 Pantalles

Per tancar aquest apartat dedicat a la interfície interactiva, es presenten un seguit de pantalles de les diverses funcionalitats que conformen aquesta interfície. No es mostraran pantalles amb els diversos resultats de representar el sistema en les diverses situacions ja que són equivalents als que s'han anat mostrant al llarg d'aquesta memòria.

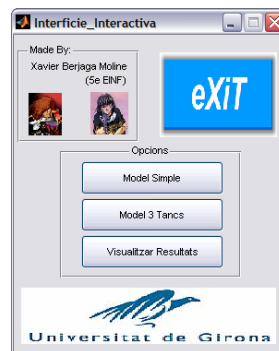


Figura 7.8: Pantalla principal de la interfície interactiva

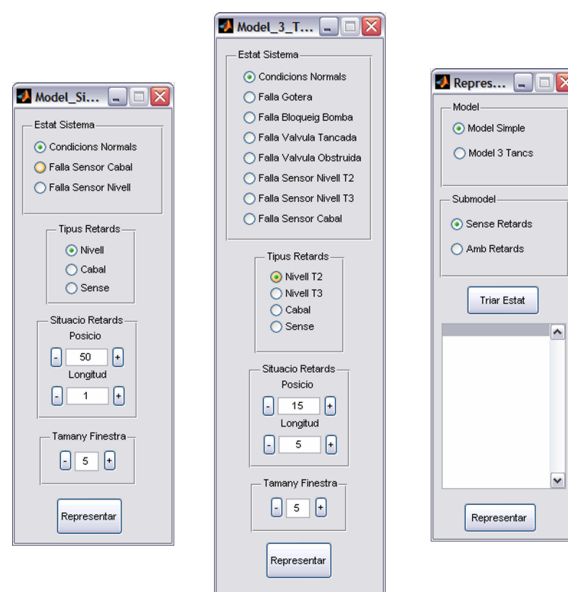


Figura 7.9: Pantalles de les funcionalitats de la interfície interactiva

7.4 Aplicació per a la realització de l'Anàlisi Estructural

7.4.1 Idea

Aquesta aplicació ha estat l'última a implementar-se durant el transcurs d'aquest projecte. La seva principal funcionalitat és la de donar la relació de substitució de variables de la restricció inicial que marca l'equació de redundància marcada com a zero segons l'algorisme de ranking, per aquella restricció que en dóna el valor.

7.4.2 Procediment

Per tal d'il·lustrar la seqüència a seguir per tal d'obtenir la relació de substitucions a realitzar sobre el conjunt de variables i restriccions que conformaran el sistema sobre el qual es vol aplicar es mostra a la Figura 7.10 el diagrama d'activitat amb els passos a seguir.



Figura 7.10: Diagrama d'activitat dels passos per obtenir les regles de substitució

El primer pas que es realitza és aplicar l'algorisme de ranking que s'ha comentat al capítol de l'anàlisi estructural, i sobre el qual es torna a mostrar el pseudocodi en la Figura 7.11.

Un cop conegut el rang de cadascuna de les variables i restriccions, es realitza la formació del graf de substitucions, que ve a ser l'equivalent al graf estructural del sistema, però sense la representació gràfica, i que es mostra en la Figura 7.12 el seu pseudocodi.

On:

g : Relació de substitucions entre restriccions i variables del sistema

m_i : Matriu d'incidències del sistema

v : Conjunt de variables del sistema

c : Conjunt de restriccions del sistema

La idea bàsica d'aquesta funció ve a ser que per cadascun dels diversos rangs de les restriccions que s'han trobat en la matriu d'incidències, es desitja saber quines variables d'entrada té (variables conegudes per iteracions anteriors), així com les sortides de la

Donat: Una matriu d'incidències

1. Marcar totes les variables conegudes. $i = 0$.
2. Trobar totes les restriccions que presenten exactament una variable no marcada. L'hi associem rang i , al mateix temps que marquem la corresponent variable amb aquest mateix rang.
3. Si hi ha restriccions no marcades, les variables de les quals ja han estat totes assignades, les associem amb rang i , i les connectem amb la pseudo-variable ZERO.
4. $i = i + 1$.
5. Si hi ha variables no marcades, anem al pas 2.

Resultat: Rang de totes les variables.

Figura 7.11: Pseudocodi de l'algorisme de ranking

```

FUNCIO  $g = \text{formar\_graph\_substitucions}(m_i, v, c)$ 
   $\text{rang} = 0$ 
   $c\_afegides = 0$ 
   $\text{continuar} = \mathbf{CERT}$ 
  MENTRE  $\text{continuar}$  FER
     $c_i = \text{trobar\_constraints\_rang}(\text{rang})$ 
     $n_{c_i} = \text{longitud}(c_i)$ 
    PER  $j = 1$  FINS  $n_{c_i}$ 
       $p = \text{trobar\_posicions\_variables\_desconegudes}()$ 
       $\text{afegir\_entrades\_graph}(p)$ 
       $c\_afegides = c\_afegides + 1$ 
    FPER
     $\text{rang} = \text{rang} + 1$ 
     $\text{continuar} = \text{mirar\_n\_variables\_afegides}()$ 
  FMENTRE
FFUNCIO

```

Figura 7.12: Pseudocodi de l'algorisme de formació del graf de substitucions

restricció (variable a la que assigna valor la restricció).

Aquest procés es va repetint mentre no s'hagin assignat la relació d'entrades i sortides

per a cadascuna de les restriccions del sistema.

Finalment, i com a últim pas, a partir del graf de substitucions es crida a la funció *escriure_relacio_substitucions* per mostrar per pantalla la relació de substitucions de les variables per aquelles restriccions que permeten l'obtenció de les variables, el pseudocodi del qual es mostra en la Figura 7.13.

```

FUNCIO escriure_relacio_substitucions(g,ce,ve,vb,p)
  l = longitud(ce)
  nc = longitud(vb)
  PER i DE 1 FINS nc - 1
    pc = trobar_posicio_constraint(i)
    escriure_relacio(pc)
    actualitzar_constraints_escrites(i)
  FPER
  pc = trobar_posicio_constraint(nc)
  escriure_relacio(pc)
  actualitzar_constraints_escrites(nc)
  nc = longitud(constraintsafegides)
  SI nc > 0
    PER i DE 1 FINS nc - 1
      actualitzar_relacio_constraints_variables(i)
      nv = longitud(sortides(i))
      PER j DE 1 FINS nv - 1
        actualitzar_relacio_sortida_constraint(j)
      FPER
      actualitzar_relacio_sortida_constraints(nv)
    FPER
    escriure_relacio_constraints_variables()
    actualitzar_variables_buscar()
    actualitzar_variables_escrites()
    escriure_relacio_substitucions(g,ce,ve,vb,p)
  FSI
FFUNCIO

```

Figura 7.13: Pseudocodi de l'algorisme de formació del graf de substitucions

On:

g : Graf de relació de substitucions entre restriccions i variables

c_e : relació de constraints escrites fins al moment

v_e : relació de variables escrites fins al moment

v_b : relació de variables a les quals s'ha de trobar la relació amb la restricció que li assigna valors

p : posicions on hi ha els ZERO's (restriccions que esdevindran equacions de redundància)

A grans trets, aquesta funció explora el graf amb la relació de substitucions entre restriccions i variables. Per cadascuna de les restriccions que s'han etiquetat com a ZERO (restricció central de les ARR), es troba la relació de variables que necessita conèixer el valor (entrades).

Quan disposa d'aquestes entrades, busca quina restricció els hi assigna valor. Les variables d'aquestes restriccions s'afegeixen al conjunt de variables a buscar, per a la següent iteració trobar quines restriccions els hi assignen valor.

Aquest procés es va repetint fins al moment que s'arriba al nivell en que les variables que s'estan buscant són variables mesurables, moment en que es mostra aquesta situació i s'atura l'execució del procés.

7.4.3 Exemple d'execució

En aquest apartat es mostrarà un exemple d'execució de les funcions exposades en l'apartat anterior, per tal d'il·lustrar el funcionament conjunt de l'aplicació aquí presentada.

La matriu d'incidències que serà la base de la demostració es pot veure en la Taula 7.1, que representa el sistema d'un sol tanc, on es troben separades les variables desconegudes de les conegudes per una doble barra horitzontal.

	h	\dot{h}	q_i	q_o	u	y
c_1		1	1	1	0	0
c_2			1		1	
c_3	1			1		
c_4	1					1
c_5					1	1
c_6	1	1				

Taula 7.1: Matriu d'incidències del model d'un sol tanc

Si s'aplica la funció Ranking, el resultat obtingut es mostra en les Taula A.2 on les 4 primeres columnes representen les variables desconegudes, la 5 representa si la restricció

és un ZERO i la última indica el rang de la restricció.

	h	\dot{h}	q_i	q_o	<i>ZERO</i>	<i>Rang</i>
c_1					1	2
c_2			1		-1	0
c_3				1	-1	1
c_4	1				-1	0
c_5					1	0
c_6		1			-1	1

Taula 7.2: Resultat d'aplicar la funció Ranking

A continuació, si es passen els resultats obtinguts amb aquesta funció per tal d'obtenir el graf de relacions de substitució de variables per restriccions s'obtenen els resultats que es presenten en la taula 7.3, on la columna de més a l'esquerra representa les entrades de la restricció (variables que conté aquesta), a la columna central el nom de la restricció i la columna de més a la dreta la sortida (la variable a la que assigna valor la restricció).

Entrades	Restricció	Sortida
u	c_2	q_i
y	c_4	h
u, y	c_5	<i>ZERO</i>
\dot{h}	c_3	q_o
h	c_6	\dot{h}
\dot{h}, q_i, q_o	c_1	<i>ZERO</i>

Taula 7.3: Relació de substitucions de entre variables i restriccions

Aquelles restriccions que tenen com a sortida la variable *ZERO* seran les equacions de redundància del sistema. Per tal de veure la relació de substitucions per obtenir les equacions de redundància, s'aplica la funció *escriure_relacio_substitucions* sobre el graf que s'ha obtingut, que en el cas d'aquest exemple el resultat de la seva aplicació és el que es mostra en la Figura 7.14.

La notació seguida a l'hora de presentar els resultats és la que es mostra a continuació:

(N ARR:

sortida de la restricció \rightarrow nom de la restricció

(nom de la restricció \rightarrow (variables d'entrada de la restricció)+;)+)+

```
-----  
ARR1:  
ZERO->c5  
c5->u,y;  
u->variable coneguda;y->variable coneguda  
-----  
ARR2:  
ZERO->c1  
c1->dh,qi,qo;  
dh->c6;qi->c2;qo->c3  
c2->u;c3->h;c6->h;  
h->c4;u->variable coneguda  
c4->y;  
y->variable coneguda  
-----
```

Figura 7.14: Resultat d'executar escriure_relacio_substitucions

Aquesta notació significa que com a mínim s'escriurà una equació de redundància (si no, és que el sistema no presenta cap ARR i llavors no es pot utilitzar aquest mètode en el sistema on s'ha provat).

Cadascuna de les equacions de redundància, al seu torn estan formada per la restricció que té com a sortida ZERO (si no, no hagués aparegut cap equació de redundància), i que té una sèrie de variables d'entrada (que com a mínim serà una). Si una restricció té diverses variables d'entrada, en la següent iteració del mètode, totes les restriccions que donen valor a les variables d'entrada es mostraran en la mateixa línia, separades per punts i comes, i com a mínim sempre n'hi haurà una.

Com a apunt final respecte aquesta funció, només comentar que si una variable ja s'ha mostrat amb anterioritat la substitució corresponent per a l'obtenció del seu valor, no es tornarà a mostrar, ja que aquest fet només provocaria l'aparició de camins duplicats en la substitució, al mateix temps que no aporta nova informació sobre la resolució per a l'obtenció de l'equació de redundància.

Capítol 8

Conclusions

En aquest últim capítol de la memòria es parlarà de les conclusions que s'han extret de la realització d'aquest projecte, així com es proposaran una sèrie de treballs futurs que permetrien complementar els resultats del projecte, així com millorar-ne alguns apartats.

8.1 Conclusions

L'objectiu d'aquest projecte era el de determinar la influència dels retards en les comunicacions introduïts per al xarxa que comunica el procés industrial que es vol analitzar (en aquest cas el benchmark dels 3 tancs) i l'ordinador encarregat d'analitzar els residus. La principal conclusió que s'extreu d'aquesta situació és que tot i que el període de mostreig era força elevat (1 segon aproximadament) els seus efectes començaven a ser visibles en un sistema real, on els residus que es calculen presenten una gran variabilitat.

De fet, en el cas del model simple, la dinàmica del qual no era tan sorollosa, s'ha pogut comprovar que quan el sistema es troba en una situació d'excitació (un canvi de consigna) els seus efectes són més importants, ja que el fet de perdre una dada en un instant de temps provoca una gran variació en el comportament dels residus. Per desgràcia, en el referent al model on es volia estudiar i implementar la metodologia, per tal de que es poguessin observar aquests efectes es requeria haver de calcular el valor de la derivada amb els valors disponibles de l'instant de temps, fet que provoca que si hi ha dues dades iguals, la derivada es torni zero.

Aquest fet no es dona en el model simple, tal com s'ha comentat en el seu corresponent apartat, ja que l'obtenció de les dades es realitza a través de sensors intel·ligent (sensors capaços de calcular la derivada del valor actual que ha mesurat). Aquest fet indica, que

en un model tan simple, l'efecte dels retards és molt important. Això permet concloure, que si s'aconsegueix reduir el nivell de soroll dels residus dels 3 tancs, es pot aconseguir que en el mateix mode de funcionament que el model simple (sensors intel·ligents) afectin d'una forma més clara, ja que a major complexitat, major efecte tindran els retards.

Pel que fa als resultats obtinguts amb la utilització de l'algoritme per a la reducció dels efectes dels retards, en el cas del model simple, es pot veure clarament que l'aplicació d'aquesta permet reduir en gran mesura (per no dir-ne la totalitat) dels efectes dels retards. Per contra, a l'hora d'aplicar la tècnica sobre el benchmark dels 3 tancs, els resultats han estat molt dispars, en alguns casos millorant inclús la detecció de les falles, però en altres ha fet que els residus de les equacions no s'adiessin amb els de la signatura de la corresponent falla. El que és pitjor, en un cas s'ha arribat a fer que una falla tingués la mateixa signatura que la del sistema quan es troba en condicions normals.

8.2 Treballs Futurs

Tal com es comentava en l'apartat anterior, un dels principals punts a millorar de l'estudi aquí realitzat s'ha d'encaminar a la reducció de la dinàmica dels residus del sistema dels 3 tancs, fet que provoca uns llindars amb una magnitud força elevada (en alguns casos el valor del llindar superior era 10) que al seu torn augmenten la dificultat que la pèrdua d'un valor, o la repetició d'una dada no afecti en gran mesura el sistema.

Un altre punt en compte, que podria arribar a ser interessant per a l'usuari de les interfícies desenvolupades dins d'aquest projecte, seria el fet de que l'aplicació per a la realització de l'anàlisi estructural arribés a proporcionar les equacions de redundància. Actualment, el que realitza l'aplicació és donar els passos de substitució a cada nivell perquè l'usuari realitzi els canvis per la seva part. La causa d'aquesta implementació es deu a que es pot donar el cas que l'arbre de substitució presentés cicles (en un nivell inferior es trobés alguna substitució que ja s'ha definit prèviament a un nivell superior) portant a la possibilitat que l'algoritme no finalitzés.

Finalment, una opció que també seria interessant per a l'usuari, seria la possibilitat de representar el graf estructural del sistema, per millorar la comprensió de les relacions entre variables i restriccions que conformen el sistema que es vulgui analitzar. La principal dificultat que comporta aquesta utilitat és que Matlab no pot representar graf no dirigit (que és l'estil del que es requereix). Tot i aquesta limitació, existeix un grup de recerca que està estudiant el tema, i de fet han presentat una toolbox per a la representació dels

grafs estructurals que es deriven de l'anàlisi estructural.

Bibliografia

- [1] M. Blanke, M. Knaert, J. Lunze, and M. Staroswiecki. *Diagnosis and Fault-Tolerant Control*. Springer, 2003.
- [2] J. Cassar and M. Staroswiecki. A structural approach for the design of failure detection and identification systems. *IFAC / IFIP / IMACS Conference on Control of Industrial Processes*, 1997.
- [3] P. M. Frank, X. Ding, and B. Kppen-Seliger. Current developments in the theory of fdi. *IFAC Safeprocess*, 1:16–27, 2000.
- [4] J. J. Gertler. Survey of model-based failure detection and isolation in complex plants. *IEEE Control Systems Magazine*, 8:3–11, 1988.
- [5] R. Isermann. Fault diagnosis of machines via parameter estimation and knowledge processing. *Automatica*, 29:815–836, 1993.
- [6] D. Llanos, J. Colomer, J. Melndez, and M. Staroswiecki. Influence of networking delays in residual computation. 2004.
- [7] J. Masferrer. Detecci de falles basades en model d’un procs de laboratoris de regulaci de nivell. Master’s thesis, Universitat de Girona, 2005.
- [8] P. Nygren. *Implementation of model-based diagnosis methods on an inverted pendulum*. PhD thesis, 1996.
- [9] V. Puig, J. Quevedo, T. Escobet, B. Morcego, and C. Ocampo. Control tolerante a fallos (parte i): Fundamentos y diagnostico de fallos. 2004.
- [10] M. Staroswiecki, J. P. Cassar, and P. Declerk. Analytical redundancy in non-linear interconnected systems by means of structural analysis. *IFAC / IMACS / IFORS Conference AIPAC*, 1989.
- [11] Institute of Control Engineering Technical University Hamburg-Harburg. Laboratory 3 tank system: Benchmark for the reconfiguration problem version 1.2. 1997.

Apèndix A

Manuais d'usuari de les aplicacions i interfícies

En aquest annex es presenten els manuals d'usuari de cadascuna de les interfícies que s'han anat desenvolupant durant el transcurs d'aquest projecte. Es dedicarà un apartat a cadascuna d'elles i on s'intentarà donar les principals característiques de cadascuna de les interfícies, així com es mostrarà un petit exemple d'execució amb la interfície interactiva a mode d'exemple orientatiu per a l'usuari.

Un cop feta aquesta breu introducció es passarà a comentar de forma individual cadascuna de les interfícies que s'han implementat.

A.1 Interfície didàctica

L'objectiu principal d'aquesta interfície és la d'aproximar el benchmark sobre el que s'ha treballat durant el transcurs del projecte. Tot i que no aprofundeix en gran detall sobre el funcionament d'aquest ni en tots els àmbits que s'han tractat en el projecte, la seva raó és la de donar els conceptes bàsics a l'usuari sobre l'entorn en que treballarà, així com mostrar els primers resultats que es van començar a obtenir de la interacció amb el model.

A.1.1 Descripció de les funcions

Al tractar-se d'una interfície didàctica, el seu principal objectiu és ensenyar. Per aquesta raó les funcions accessibles des de la pantalla principal d'aquesta interfície i que es mostra en la Figura A.2, intenten abastar els diversos camps que una persona ha de conèixer per poder treballar en l'entorn dels 3 tancs.

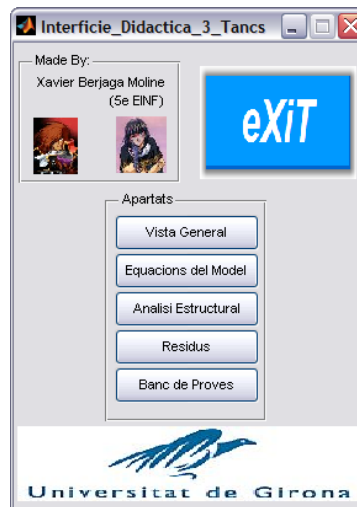


Figura A.1: Pantalles principal de la interfície didàctica

A partir de la pantalla principal es pot accedir a les funcionalitats que es presenten en la Figura 7.1, que consisteix en un diagrama de casos d'ús d'aquestes, i que s'expliquen de forma més detallada en les fitxes dels casos d'ús de cadascuna.

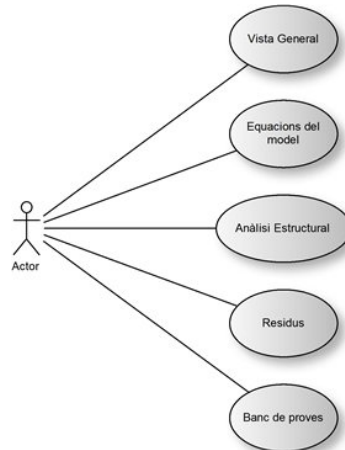


Figura A.2: Diagrama de casos d'ús de la interfície didàctica

Vista General

Aquesta opció dóna una breu introducció al sistema dels 3 tancs, tot mostrant el seu aspecte (tant físic com a nivell esquemàtic) i els diversos punts de treball en que es pot trobar el sistema dependent de la combinació de nivells dels dos tancs que es tenen en compte a l'hora de realitzar el model, i que presenta l'aspecte que es mostra a la Figura

A.3.

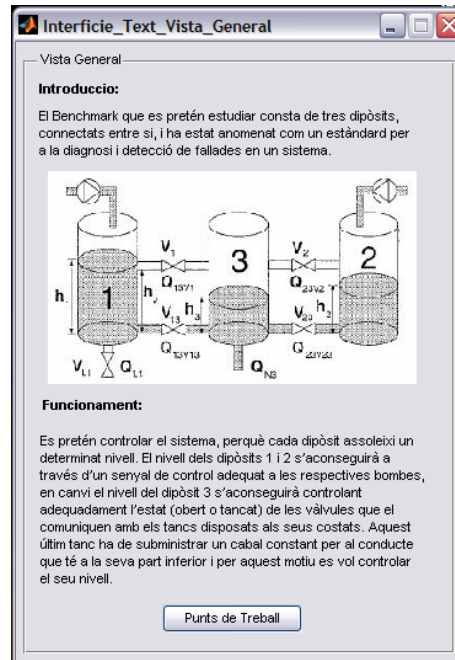


Figura A.3: Pantalla de la Vista General

Equacions del model

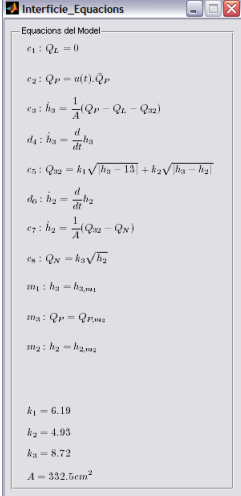
Aquest conjunt de funcions presenten les restriccions del model en el punt de treball en que es va decidir treballar, l'aspecte de la pantalla és el que es pot veure en la Figura A.13.

Anàlisi Estructural

Aquest apartat està dedicat a la metodologia que s'ha utilitzat per tal d'obtenir les equacions que s'utilitzaran de control per tal de determinar l'estat en que es troba el sistema. El que es fa és mostrar pas a pas quina acció es realitza en l'anàlisi estructural a mode de tutorial. L'aspecte d'aquest apartat es mostra en la Figura A.5.

Residus

Aquesta pantalla ve a mostrar un seguit de resultats que es poden obtenir amb el model dels 3 tancs sota un conjunt de diverses falles que es poden aplicar sobre el benchmark.



Interficie_Equacions

Equacions del Model

$$e_1: Q_L = 0$$

$$e_2: Q_P = v(t) \cdot Q_P$$

$$e_3: \dot{h}_3 = \frac{1}{A}(Q_P - Q_L - Q_{32})$$

$$d_4: \dot{h}_3 = \frac{d}{dt} h_3$$

$$e_5: Q_{32} = k_1 \sqrt{|h_3 - 13|} + k_2 \sqrt{h_3 - h_2}$$

$$d_6: \dot{h}_2 = \frac{d}{dt} h_2$$

$$e_7: \dot{h}_2 = \frac{1}{A}(Q_{32} - Q_N)$$

$$e_8: Q_N = k_3 \sqrt{h_2}$$

$$m_1: h_3 = h_{3,ini}$$

$$m_3: Q_P = Q_{P,ini}$$

$$m_2: h_2 = h_{2,ini}$$

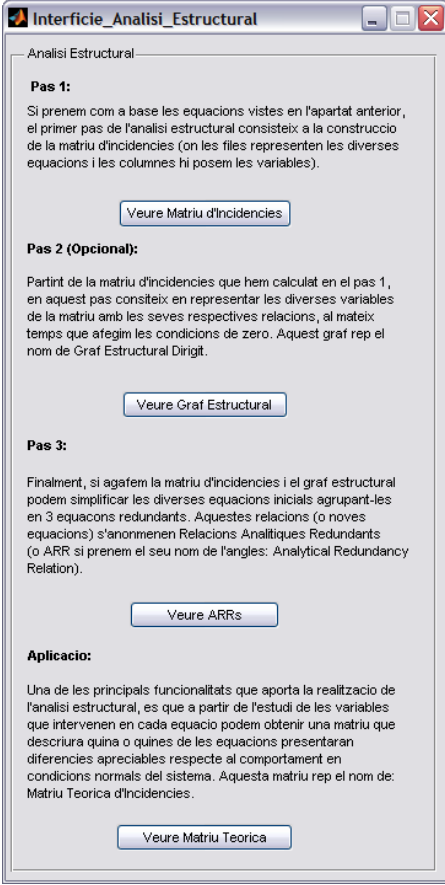
$$k_1 = 6.19$$

$$k_2 = 4.93$$

$$k_3 = 8.72$$

$$A = 332.5 \text{ cm}^2$$

Figura A.4: Pantalla de l'apartat d'Equacions del Model



Interficie_Analisi_Estructural

Analisi Estructural

Pas 1:

Si prenem com a base les equacions vistes en l'apartat anterior, el primer pas de l'anàlisi estructural consisteix a la construcció de la matriu d'incidències (on les files representen les diverses equacions i les columnes hi posem les variables).

Pas 2 (Opcional):

Partint de la matriu d'incidències que hem calculat en el pas 1, en aquest pas consisteix en representar les diverses variables de la matriu amb les seves respectives relacions, al mateix temps que afegim les condicions de zero. Aquest graf rep el nom de Graf Estructural Dirigit.

Pas 3:

Finalment, si agafem la matriu d'incidències i el graf estructural podem simplificar les diverses equacions inicials agrupant-les en 3 equacions redundants. Aquestes relacions (o noves equacions) s'anomenen Relacions Anàlitziques Redundants (o ARR si prenem el seu nom de l'angles: Analytical Redundancy Relation).

Aplicació:

Una de les principals funcionalitats que aporta la realització de l'anàlisi estructural, és que a partir de l'estudi de les variables que intervien en cada equació podem obtenir una matriu que descriu quina o quines de les equacions presentaran diferències apreciables respecte al comportament en condicions normals del sistema. Aquesta matriu rep el nom de Matriu Teòrica d'Incidències.

Figura A.5: Pantalla de l'apartat d'Anàlisi Estructural

L'aspecte d'aquest apartat es mostra en la Figura A.6.

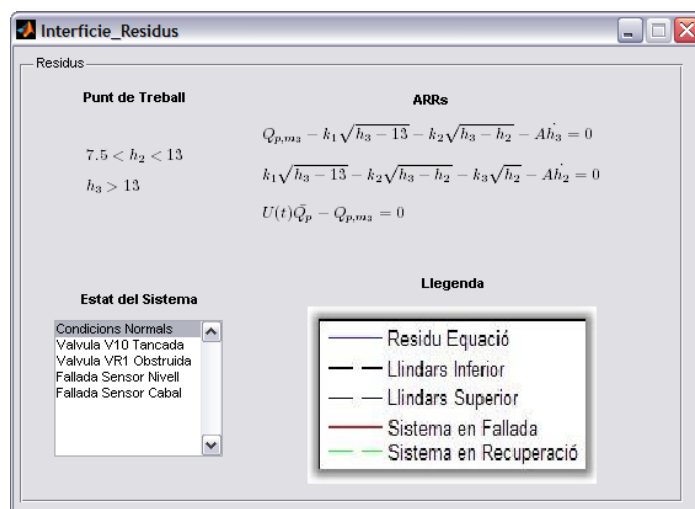


Figura A.6: Pantalla de l'apartat de Residus

Banc de proves

L'objectiu de tota aplicació didàctica ve a ser que l'usuari aprengui un concepte per després poder-ho posar en pràctica. En aquest cas, aquesta funció ve a proveir un entorn perquè l'usuari introdueixi els seus propis scripts (adicionalment acompanyat d'un fitxer .mat amb les variables necessàries per al càlcul dels residus del fitxer .m). Cal dir que aquest apartat abans d'executar-se crea un fitxer amb les dades que es trobaven al workspace de Matlab per tal de conservar les dades que es tenien. Quan es vulgui sortir de l'aplicació d'interfície és recomanable executar la comanda Restaurar, que eliminarà totes les variables que s'hagin afegit a l'entorn de treball durant l'execució d'aquesta interfície. Per acabar aquest apartat es mostra l'aspecte que té aquesta interfície en la Figura A.7.

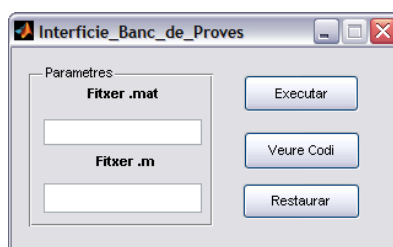


Figura A.7: Pantalla de l'apartat de Banc de Proves

A.1.2 Navegació

Dins d'aquest apartat es mostraran les pantalles que van apareixent a mesura que es van prement botons en la interfície didàctica, partint des de la pantalla principal.

Vista General

Per tal de venir a aquest apartat, s'ha de prémer el botó de Vista General de la pantalla principal de la interfície (Figura A.8).

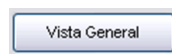


Figura A.8: Botó Vista General

Dins aquesta nova pantalla que apareix, l'única opció accessible és la que indica el botó punts de treball (Figura A.9).



Figura A.9: Botó Punts de Treball

En la pantalla que apareix a continuació una de les opcions disponibles és la d'alternar entre la fotografia del model de la planta del laboratori i l'esquema del benchmark, tal com es pot veure en la Figura A.10.

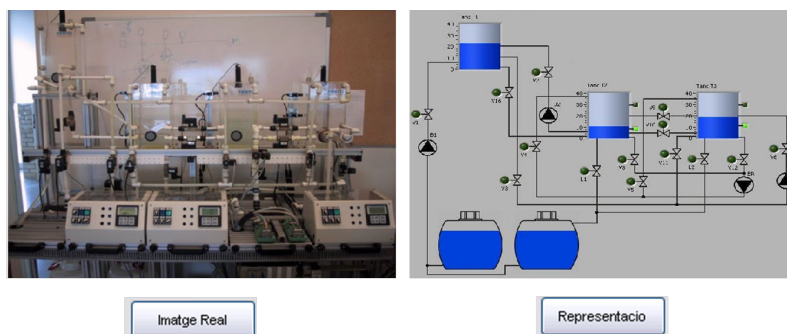


Figura A.10: Botons de selecció de la representació del model

A part d'això, es pot veure l'estat que pren el sistema en cadascun dels punts de treball, així com les condicions definides pels nivell del tanc T2 i el tanc T3 si es premen els

botons P1,P2,P3,P4 i P5 (Figura A.11).



Figura A.11: Botó selecció condicions de treball del benchmark

Equacions del model

Per accedir a aquesta part de la interfície s'ha d'haver clickat el botó Equacions del model (Figura A.12) de la pantalla principal.



Figura A.12: Botó Equacions del model

En la pantalla que apareix a continuació, l'opció disponible és la de veure les restriccions que es tindran en compte per a calcular les equacions de redundància del sistema, l'aspecte de la qual es mostra en la Figura A.13.

Anàlisi Estructural

Aquesta pantalla es mostra quan es prem el botó d'Anàlisi Estructural de la pantalla principal de la interfície. (Figura A.14).

Les funcionalitats incloses en aquesta part van mostrant els passos que se segueixen durant l'anàlisi estructural, així com una breu descripció de les tasques que es realitzen en cadascun, i que es mostren en la Figura A.15.

Les pantalles que segueixen a cadascun d'aquests botons s'han representat en la Figura A.16, i que estan ordenats a la cantonada superior esquerra la matriu d'incidències, a la cantonada superior dreta el graf estructural del sistema, a la cantonada inferior esquerra les equacions de redundància i a la cantonada inferior dreta la matriu de signatura de falles.

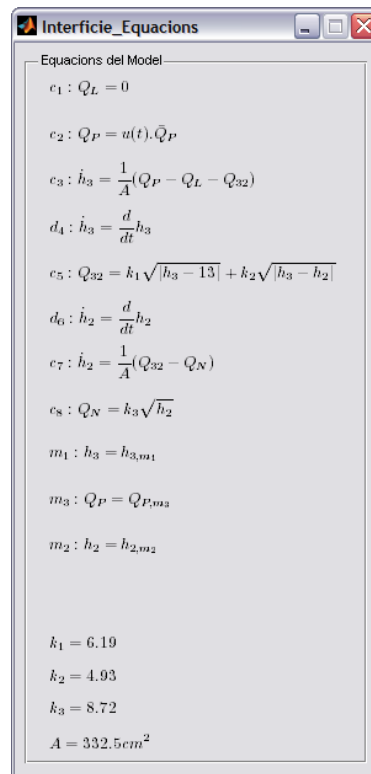


Figura A.13: Botó Veure Equacions del model



Figura A.14: Botó Anàlisi Estructural



Figura A.15: Botons dels passos de l'anàlisi estructural

Residus

Si a la pantalla principal es prem el botó Residus (Figura A.17) es va a parar a aquesta pantalla.

Si es clicka sobre algun dels elements de la llista d'estats del sistema es presenta una nova finestra, no es mostren els 3 residus del sistema en aquest estat, juntament amb una sèrie de línies de diversos colors, el significat de les quals es pot veure en la llegenda que es troba a la cantonada inferior dreta de la pantalla. Tot seguit es mostren els residus obtinguts del sistema en condicions normals (Figura A.18) i sota una falla de vàlvula tancada (Figura A.19).

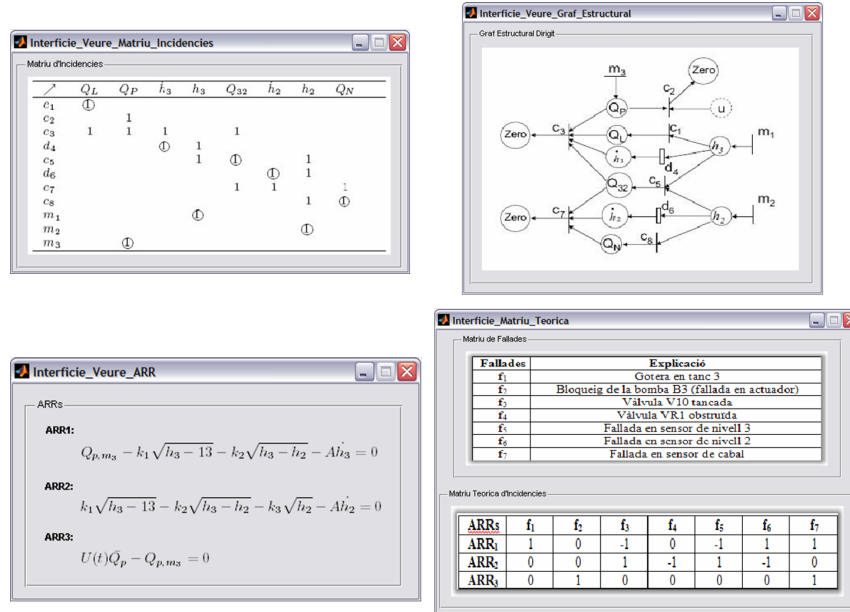


Figura A.16: Pantalles de l'anàlisi estructural



Figura A.17: Botó Equacions del model

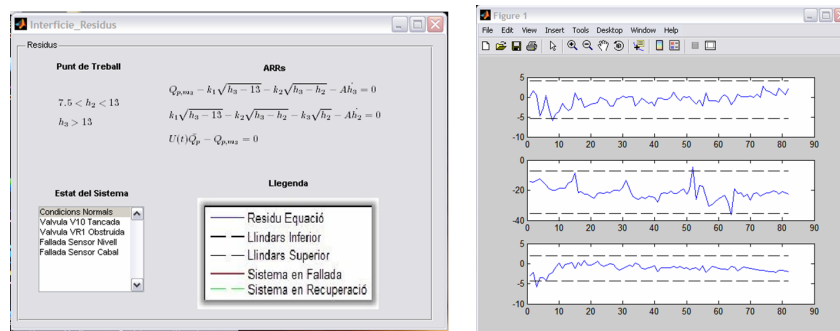


Figura A.18: Representació dels residus del sistema en condicions normals

Banc de proves

Per accedir a aquesta pantalla, prèviament s'ha d'haver clickat el botó Banc de Proves de la pantalla principal (Figura A.20).

Aquesta interfície intenta donar l'opció a l'usuari d'executar les funcions que hagi

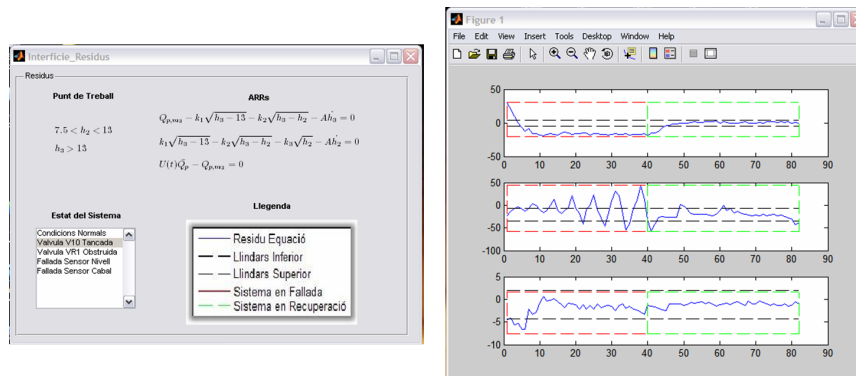


Figura A.19: Representació dels residus sota falla d'una vàlvula tancada

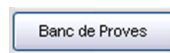


Figura A.20: Botó Equacions del model

implementat i vulgui posar a prova mentre està executant l'aplicació. Com a requisit imprescindible, el camp del fitxer .m (o script / funció a executar) s'ha d'omplir, en cas contrari es mostra la un missatge d'error (Figura A.21).

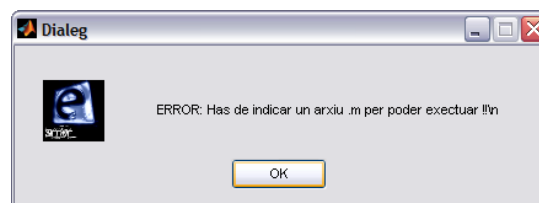


Figura A.21: Missatge d'error de la pantalla de Banc de Proves

En canvi, si no s'inclou cap fitxer .mat amb les variables que es necessitin en el fitxer .m, només es mostra una pantalla d'avís, tot indicant a l'usuari que les variables que utilitzi han de trobar-se en el fitxer .m (Figura A.22).

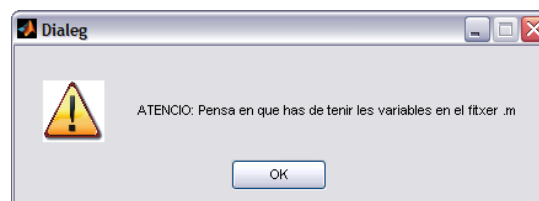


Figura A.22: Missatge d'avís de la pantalla de Banc de Proves

A.2 Interfície interactiva

Aquesta interfície es troba dividida en 3 grans blocs (Model Simple, Model dels 3 Tancs i Visualització de Resultats) que comparteixen un objectiu comú: mostrar una sèrie de resultats sota diverses condicions dels sistema (tant del model d'un sol tanc com el del benchmark). Tot seguit es mostren els diagrames de casos d'ús de l'apartat dedicat al model simple i al model dels 3 tancs (Figura A.23) i al visionat de resultats (Figura A.24).

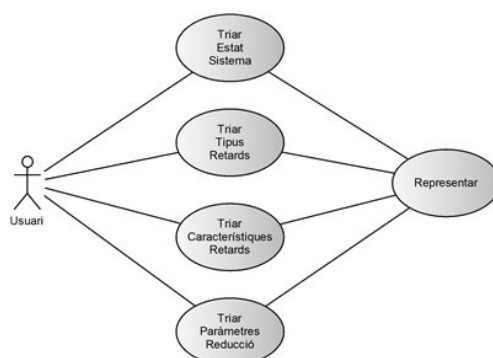


Figura A.23: Diagrama de casos d'ús dels apartats model simple i model dels 3 tancs

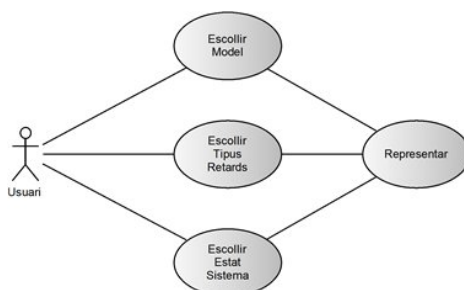


Figura A.24: Diagrama de casos d'ús de l'apartat representar resultats

Tot i que el model simple i el model dels 3 tancs comparteixen les mateixes funcions s'ha decidit implementar les dues variants en diferents interfícies per tal de simplificar a l'usuari les tasques a l'hora de realitzar tots els experiments que vulgui amb les interfícies, al mateix temps que s'ha mantingut el mateix esquema per a les dues pantalles, ja que s'ha considerat més simple realitzar tasques semblant en entorns amb la mateixa distribució dels elements.

Pel que fa a la part de representació dels resultats que s'obtenen sobre el dos models, només ve a ser un exemple de resultats que pot arribar a obtenir l'usuari a través de la

realització dels experiments amb la interfície, exceptuant les gràfiques del model simple amb retards on la presència de retards múltiples no es pot emular amb aquesta interfície.

A.2.1 Descripció de les funcions

Un cop presentat el funcionament bàsic de les aplicacions, es passa a mostrar una breu descripció de les pantalles a que es pot accedir a mesura que es van clickant botons des de la pantalla principal, així com les principals característiques de cadascun dels subapartats.

Model Simple

Si es prem el botó Model Simple (Figura A.25) s'accedeix a la pantalla dedicada al model simple que presenta l'aspecte de la Figura A.26.

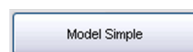


Figura A.25: Botó Model Simple

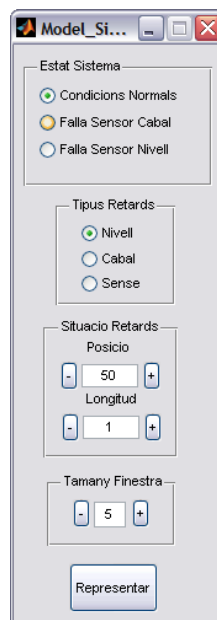


Figura A.26: Pantalla de configuració de la simulació amb el model simple

Tal com es pot observar, la pantalla permet personalitzar l'estat del sistema (condicions normals o presència d'alguna falla) i si es vol presència de retards en les dades. Si es desitgen retards, llavors s'han de configurar els paràmetres que els situïn en un instant

de temps (Posició), la seva durada (Longitud) i el tamany de la finestra que s'utilitza per reduir els efectes dels retards en el residu.

A l'hora d'incrementar el valor de la posició o la durada dels retards, s'ha de tenir en compte la següent relació:

$$p_r + l_r \leq r \tag{A.1}$$

On:

p_r : posició del primer retard.

l_r : duració dels retards.

r : nombre de residus del sistema.

Això vol dir, que es podran augmentar els valors dels 2 paràmetres sempre i quan la suma entre els seus valor sigui inferior al nombre de residus que es disposen per a la simulació.

Per una altra banda, i suposant que el valor inicial de temps que es pot fer referència és 1, el límit inferior del valor de la posició és 1, i per a la longitud també, ja que si no es desitgen retards s'ha de seleccionar la corresponent opció de la pantalla.

Model dels 3 tancs

Si en la pantalla principal es prem el botó Model dels 3 tancs (Figura A.27) es va a parar a la pantalla que s'observa en la Figura A.28.



Figura A.27: Botó Model 3 Tancs

Tal com succeïa en el cas del model simple, es pot triar l'estat del sistema (condicions normals o sota una de les diverses falles que es poden simular) i la presència de retards en el sistema. Si es s'afegeixen retards en el sistema, llavors es tindran en compte els paràmetres de posició i longitud dels retards així com del tamany de la finestra emprada per la tècnica de reducció dels efectes dels retards.

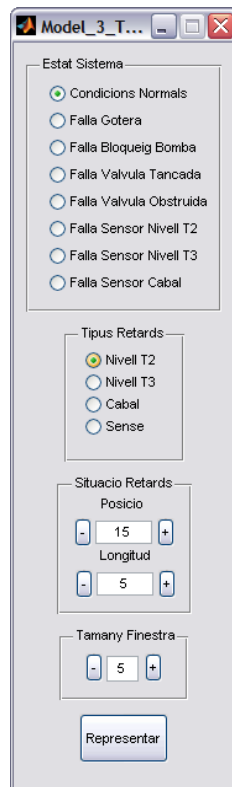


Figura A.28: Pantalla principal per a la configuració de la simulació amb el model dels 3 tancs

El límit superior del valor de la posició i la duració dels retards depèn de la longitud dels residus disponibles per a la simulació del model i que ve expressat per l'equació que es mostra tot seguit.

$$p_r + l_r \leq r \tag{A.2}$$

On:

p_r : posició del primer retard.

l_r : duració dels retards.

r : nombre de residus del sistema.

Pel que es refereix al límit inferior, el valor mínim per als 2 paràmetres relacionats amb els retards (posició i longitud) és 1. La posició pren aquest valor perquè se suposa que el primer instant de temps és 1, mentre que la longitud pren aquest valor perquè si no es volen retards ja hi ha l'opció de triar aquest estat sense necessitat de reduir el valor

de la longitud a zero.

Visualitzar Resultats

Si es prem el botó Visualitzar Resultats en la pantalla principal de la interfície (Figura A.29) s'obre la pantalla que es mostra en la Figura A.30 i des d'on es tindrà accés als diversos exemples que s'han inclòs en la memòria del projecte.

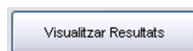


Figura A.29: Botó Visualitzar Resultats



Figura A.30: Pantalla principal per a la visualització dels resultats obtinguts

L'aspecte d'aquesta interfície és lleugerament diferent a la de les dues interfícies anteriors que s'han presentat en aquest apartat (Model Simple i Model 3 Tancs). El primer que s'ha de fer és triar el model sobre el qual es vol treballar (Model Simple o Model dels 3 Tancs) (Figura A.31). A continuació es tria si es volen retards o no en el sistema (Figura A.32). Tot seguit es prem el botó Triar Estat (Figura A.33), fet que emplenarà la llista de possibles estats (Figura A.34), dels quals se'n seleccionarà aquell que es vulgui dibuixar. Finalment, es prem el botó Representar (Figura A.35) que realitzarà la simulació del model en l'estat que l'usuari hagi elegit.

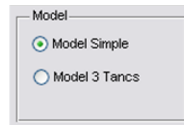


Figura A.31: Botons de selecció del model a utilitzar

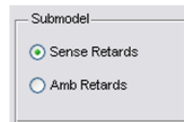


Figura A.32: Botons per triar si es volen retards en les variables

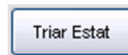


Figura A.33: Botó Triar Estat



Figura A.34: Llista de possibles estats del sistema



Figura A.35: Botó Representar

A.2.2 Exemple d'execució

En aquest apartat es mostra pas a pas les accions que es realitzen en cadascuna dels apartats en que es divideix aquesta interfície, a mode d'exemple per a l'usuari.

Model Simple

Pas 1: Selecció de l'estat del sistema

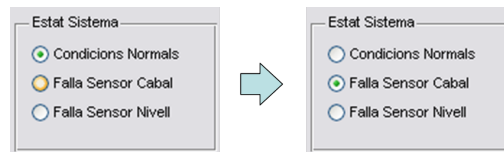


Figura A.36: Pas 1

Pas 2: Selecció del tipus de retards

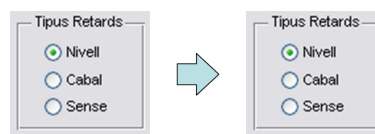


Figura A.37: Pas 2

Pas 3: Caracterització dels retards



Figura A.38: Pas 3

Pas 4: Configuració del tamany de la finestra per a la reducció

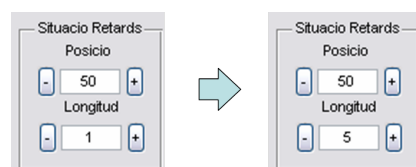


Figura A.39: Pas 4

Pas 5: Representació de resultats

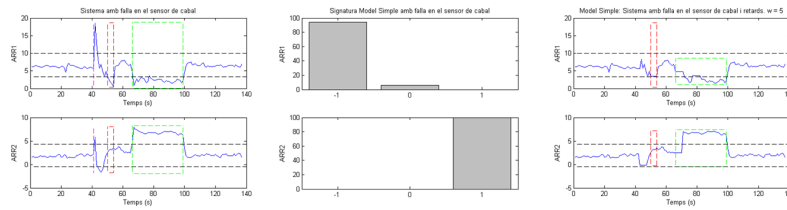


Figura A.40: Pas 5

Model dels 3 tancs

Pas 1: Selecció de l'estat del sistema

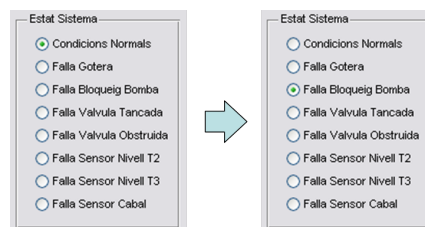


Figura A.41: Pas 1

Pas 2: Selecció del tipus de retards

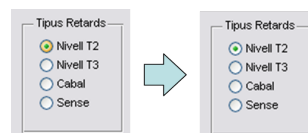


Figura A.42: Pas 2

Pas 3: Caracterització dels retards

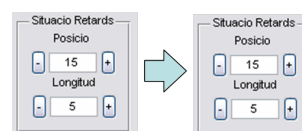


Figura A.43: Pas 3

Pas 4: Configuració del tamany de la finestra per a la reducció



Figura A.44: Pas 4

Pas 5: Representació de resultats

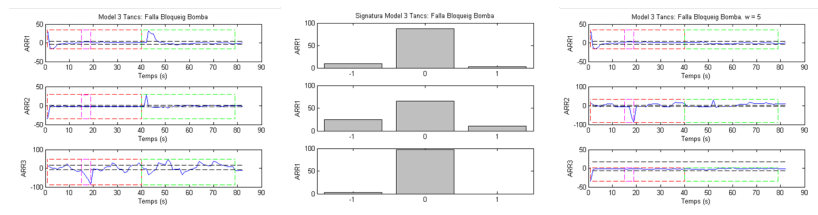


Figura A.45: Pas 5

Representació dels resultats

Pas 1: Selecció del model

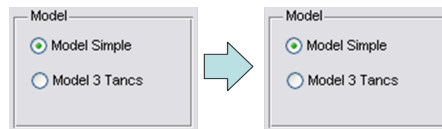


Figura A.46: Pas 1

Pas 2: Selecció de la presència de retards

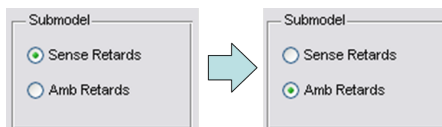


Figura A.47: Pas 2

Pas 3: Selecció estat del sistema

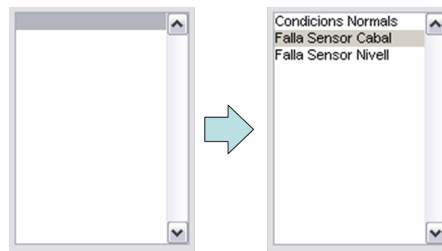


Figura A.48: Pas 3

Pas 4: Representació dels resultats

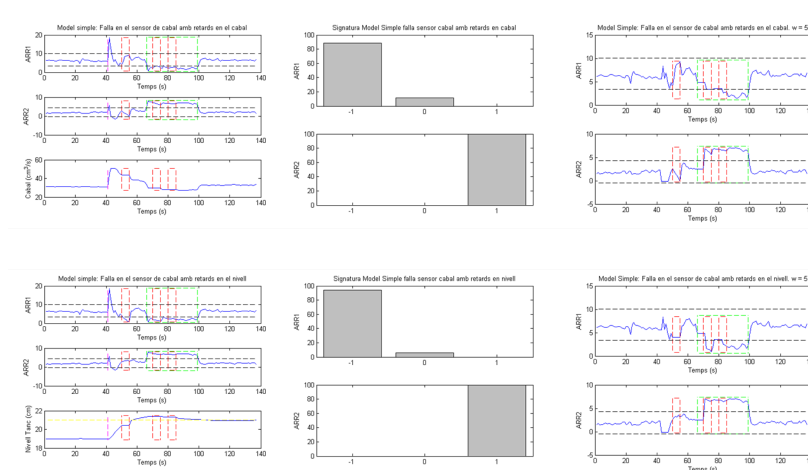


Figura A.49: Pas 4

A.3 Aplicació per a la realització de l'Anàlisi Estructural

A.3.1 Descripció del funcionament

L'objectiu del conjunt de funcions que componen aquesta aplicació és la de donar la relació de substitucions de variables per a cada equació de redundància, fet que permet trobar l'expressió per a l'obtenció dels residus.

Per tal de poder trobar aquest conjunt de substitucions que permeten el càlcul dels residus del sistema es necessita introduir la matriu d'incidències del sistema del que es volen obtenir les equacions de redundància. A partir d'aquesta matriu, es troben les equa-

cions de redundància, que són aquelles restriccions del sistema que no donen valor a cap variable no mesurable inclosa en el model.

Quan es disposa de les equacions de redundància s'ha de trobar la relació de variables a qui dóna valor cadascuna de les restriccions (les equacions de redundància tenen com a sortida la variable ZERO) i el conjunt de variables d'entrada que necessiten per assignar valor a la seva sortida.

Finalment l'únic que resta és mostrar el conjunt de substitucions que s'ha de realitzar a partir de l'equació de redundància analítica i anar remuntant enrere fins que s'arriba a les variables mesurables.

A.3.2 Exemple d'execució

Pas 0: Restriccions del sistema.

$$c_1 : Q_i = u\bar{Q}_i \quad (\text{A.3})$$

$$c_2 : Q_o = k\sqrt{h} \quad (\text{A.4})$$

$$d_3 : \dot{h} = \frac{d}{dt}h \quad (\text{A.5})$$

$$c_4 : \dot{h} = \frac{1}{A}(Q_i - Q_o) \quad (\text{A.6})$$

$$m_1 : h = h_{m_1} \quad (\text{A.7})$$

$$m_2 : Q_i = Q_{i_{m_2}} \quad (\text{A.8})$$

Pas 1: Matriu d'incidències del sistema.

	Q_i	Q_o	h	\dot{h}
c_1	1			
c_2	1	1		1
d_3			1	1
c_4		1	1	
m_1			1	
m_2	1			

Taula A.1: Matriu d'incidències del model simple

Pas 2: Rang de les restriccions (Ranking)

	h	\dot{h}	q_i	q_o	<i>ZERO</i>	<i>Rang</i>
c_1					1	2
c_2			1		-1	0
c_3				1	-1	1
c_4	1				-1	0
c_5					1	0
c_6		1			-1	1

Taula A.2: Resultat d'aplicar la funció Ranking

Pas 3: Graf de la relació de substitucions entre variables i restriccions.

Entrades	Restricció	Sortida
u	c_2	q_i
y	c_4	h
u, y	c_5	<i>ZERO</i>
h	c_3	q_o
h	c_6	\dot{h}
\dot{h}, q_i, q_o	c_1	<i>ZERO</i>

Pas 4: Relació de substitucions de les variables de cada restricció.

```

-----
ARR1:
ZERO->c5
c5->u,y;
u->variable coneguda;y->variable coneguda
-----

ARR2:
ZERO->c1
c1->dh,qi,qo;
dh->c6;qi->c2;qo->c3
c2->u;c3->h;c6->h;
h->c4;u->variable coneguda
c4->y;
y->variable coneguda
-----

```

Figura A.50: Resultat d'executar escriure_relacio_substitucions