Capítol 4- Anàlisi qualitatiu de situacions d'alarma

4.1 Introducció

Tal com es dissenya el micro-món, l'execució de la persona - obrir/tancar una vàlvula, o no fer res - , provoca situacions de risc. La qüestió a tractar és com afronta la persona aquestes situacions, es a dir, de quina manera ajusta les seves accions de control a la dinàmica del micro-món en evolució, amb el propòsit d'aconseguir la realització de la tasca.

A diferència dels sistemes *SCADA* - sistemes de supervisió, control i adquisició de dades emprats a la indústria -, on l'alarma està fixada a priori i es presenta de forma explícita com un senyal d'alerta generada pel sistema, en el micro-món és la pròpia persona la que ha de crear un referent a partir del qual interpretar l'estat del sistema i prendre les seves decisions (Travé-Massuyès i Gentil 1999). Aquesta configuració de la prova és la que permet estudiar les variacions individuals en la cognició del risc (Díaz 1997).

En aquest capítol es planteja la percepció del risc sobre la tasca de supervisió del micro-món per tot seguit associar-la al nivell d'ompliment dels tancs intermitjos i finalment emmarcar el concepte d'alarma des del punt de vista de llindar subjectiu d'alarma i llindar automàtic d'alarma definit per un agent artificial.

Per l'obtenció d'agents artificials útils en la supervisió de micro-mons s'ha triat l'apropament amb raonament qualitatiu. El motiu és doble. En primer lloc perquè la potencialitat d'aquest raonament s'està aplicant per a la generació d'un simulador causal biològic BioCaen. Aquest projecte és la suma d'investigadors de l'àrea de raonament qualitatiu (grup de recerca AS del LAAS, CNRS) amb unitats neurològiques de França (INSERM/455). El treball integrat permet potenciar el simulador causal ja existent

anomenat Caen per la construcció de BioCaen. El BioCaen utilitza la potencia del raonament qualitatiu per combinar-la amb models de propagació de la informació en el cervell per tal de fer diagnòstic de lesions cerebrals (Travé-Massuyès i Pastor 1997), (Lafon et. al. 1999).

El segon motiu radica en el fet de que la construcció d'agents artificials amb raonament qualitatiu es fa de forma explícita mitjançant regles (Travé-Massuyès et. el. 1997). L'investigador pot regular l'organització de l'acció artificial ja que les regles fetes servir en el raonament es defineixen de forma nítida. Es podria aplicar altres apropaments com per exemple les xarxes neuronals (Kohonen 1982), (Kohonen 1988) , (Kohonen 1995), algorismes genètics o aprenentatge per reforçament (Kaelbling et. Al. 1996), - tots ells dins el camp de la intel·ligència artificial -, però si el model de raonament queda amagat es farà difícil la posterior comparació amb el raonament humà.

4.2.Valoració del risc

Les persones, davant decisions que han de tenir en compte el risc, es fiaran més de quantificadors imprecisos com "imminent", o "insignificant" que de probabilitats o de fets. En realitat, el que es percep de la situació no és el risc, sinó trets dels problemes de decisió que porten a sentiments de risc (Brehmer 1987), (Chesnais 1990).

En general, les persones enfrontades a les exigències d'entorns dinàmics intenten reduir la complexitat destacant alguna característica com central (Carreras 1999). En el micro-món hidràulic el risc percebut de vessament està principalment associat al nivell d'ompliment dels tancs, entès no com una dada (percentatge d'ompliment o temps que queda pel vessament), sinó com una valoració intuïtiva de controlabilitat. Per un determinat nivell d'ompliment, el nombre de tancs que s'estan controlant en aquell moment, el nombre de vies per on circula l'aigua simultàniament, i la posició de les vàlvules configuren els diferents estats del sistema, on el nivell d'imminència de la fallada pren valors diferents. Així doncs, un determinat nivell d'ompliment d'un tanc serà interpretat per la persona com una alarma o no, amb relació a la valoració de la controlabilitat o estabilitat de la situació en el seu conjunt (Hale 1987), (Díaz 1997).

La persona pretén mantenir el sistema dins d'uns marges de controlabilitat. El *comportament adequat* es defineix en aquest context no per una seqüència específica d'accions de control, sinó pel manteniment del sistema dins d'un nivell de controlabilitat, que permeti a la persona realitzar el seu doble propòsit de rapidesa i fiabilitat (no vessament).

Revisant la literatura sobre decisió en entorn de risc, es seleccionen les variables més rellevants a estudiar.

De forma genèrica:

> **Risc**
> Contingència desfavorable a la qual està exposat algú o alguna cosa, perill incert[1]

[1] De l'Enciclopèdia Catalana de febrer 1988 (citat a Díaz 1997)

Perill
Una situació o estat del sistema en què hi ha un potencial de dany no intencional per a les persones o els elements físics del sistema, que es pot predir de forma raonable[2]

En aplicacions industrials:

Esdeveniment
Informació instantània extreta de dades continues o discretes (senyals entrada/sortida d'un component o dades sobre el context com observacions relacionades amb l'entorn, etcètera)

Alarma
Indicador discret emès pel sistema de monitorització en base a esdeveniments

I en aquest treball:

Nivell subjectiu d'alarma
L'alarma en aquest context definida com un determinat nivell d'aigua que provoca en la persona una acció directa per evitar el vessament. Aquesta *alarma subjectiva* és una construcció pròpia de la persona a partir del processament de la informació que s'obté de la planta, de la representació mental del seu funcionament i d'altres variables individuals relacionades amb la cognició del risc com la disposició a prendre riscos o les expectatives d'eficàcia en el control.

En proves prèvies desenvolupades al juny de l'any 2000, es demana a les persones que realitzin la supervisió del micro-món quatre cops seguits per després respondre a un breu qüestionari. La quarta pregunta del qüestionari mostra el dibuix d'un tanc on s'han disposat 5 possibles llindars (a, b, c, d, i e) on el cas *a* està lleugerament per sobre de la meitat del nivell màxim i on el cas *e* correspon a l'alçada màxima del tanc i la pregunta que es fa és:

Fins a quin nivell deixaries omplir el tanc, abans de prendre alguna acció de control?

La resposta ha estat:

1: Llindar a: 3 casos
2: Llindar b: 4 casos
3: Llindar c: 5 casos
4: Llindar d: 3 casos
5: Llindar e: 0 casos

S'observa, - respecte un total de 15 persones -, una clara prudència en la resposta, en el sentit de que les persones comprenen la necessitat de regular l'ompliment del tanc a temps d'evitar el vessament (v. Figura 4.1). Aquí queda palesa la capacitat d'anticipació de les persones ja que desconeixen la velocitat del fluït i cal inferir-la.
Hi ha una segona manera de comprovar aquesta prudència, i és mitjançant les pròpies dades enregistrades. D'entre tots els casos enregistrats es consideren les proves en les que no hi ha vessament. Es defineix una nova variable anomenada *llindar*. Aquesta variable s'ha calculat per cada tanc intermig T2, T3 i T4 com:

[2] Dels autors Hale i Glendon, 1987 (citat a Díaz 1997)

Llindar=max{alpha2, alpha3, alpha4}
On alpha_i = quocient entre nivell mesurat més gran respecte nivell màxim

La mitja observada per *Llindar* és del 73,35 % e indica de nou una clara prudència de la persona per tal de no vessar aigua, - això correspondria amb el llindar qualitatiu *c* de la pregunta formulada al qüestionari -. A més, s'observen valors extrems: el mínim llindar és de 0,36 i el màxim llindar és de 1, cas curiós on la persona ha aconseguit evitar el vesament a l'últim moment.

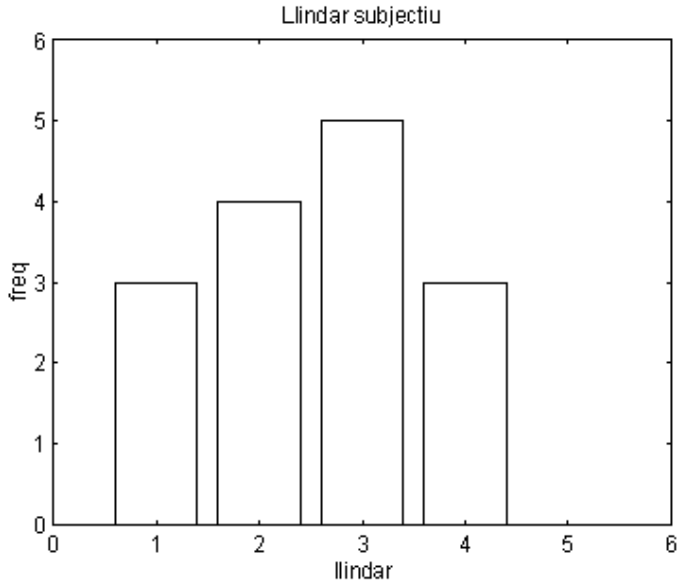

Figura 4.1 – Representació del llindar en forma de diagrama de barres

L'estudi es pot estendre a situacions de vessament ja que hi ha autors que tracten el concepte de cognició de risc relacionat amb el control de sistemes dinàmics considerant si una acció de la persona desencadena un empitjorament de la situació o una millora (Vanderhaegen i Polet 2000). A tal efecte, i suposant el pitjor dels casos, els tres tancs intermitjos amb vessament, es considera un interval de 5 segons, entenent que en aquest període la persona pot reflexionar i percebre el mal govern de la planta i refer la seva execució per tancar les tres vàlvules superiors als tancs T2, T3 i T4. Les proves sobre micro-mons - experiments del juny de 2000 - han estat dificultoses per les persones, però serveixen per considerar una situació extrema. De 52 valors enregistrats, - sobre 15 persones -, s'observa:

- 10 casos sense vessament
- 42 casos amb vessament
    - 14 casos amb recuperació _Interval < 5 s
    - 28 casos amb recuperació _Interval > 5 s

De 52 assaigs efectuats sobre el micro-món s'observa 10 casos sense vessament i 42 casos de vessament. Dins la situació de vessament, hi ha 14 casos on les persones implicades perceben el seu mal govern de la planta i decideixen aturar la situació catastròfica. En aquest context la recuperació dins l'interval < 5 segons indica que la persona pot percebre i actuar per tal de reconduir el micro-món des de una situació inestable de vessament a una situació amb risc de vessament però dins uns marges de controlabilitat.

En canvi, hi ha 28 casos, on l'intent de recuperació és executat de forma tardana, o bé per despreocupació del vessament, o bé per una acció inadequada, o bé per una planificació molt arriscada i gens reflexiva d'obrir tots els camins sense una bona planificació prèvia.

A banda de l'estudi comparatiu entre persones i la cognició del risc, l'estudi també es pot plantejar a nivell individual per cada persona. En concret, cal veure si el nivell d'alarma subjectiu es modifica al llarg de la repetició dels assaigs per efecte de l'aprenentatge.

Aquí el que caldria veure és si es pot establir una relació entre la variació del llindar i la millora del rendiment. Es tracta d'un problema obert ja que per exemple dins un mateix assaig el llindar subjectiu no és constant, i en segon lloc perquè es fa difícil comparar llindars que no equivalen al mateix escenari. En tot cas, si que es poden plantejar hipòtesis de treball (Díaz i Ponsa 2000):

Hip-1
El nivell subjectiu d'alarma influeix sobre la rapidesa en l'execució i la fiabilitat, entesa com absència de vessament

Hip-2
El nivell d'alarma subjectiu es modifica al llarg dels assaigs per efecte de l'aprenentatge.

A mode d'escenificació d'un cas particular es considera la supervisió del micro-món de la persona estudiada en el Capítol 3 (cf. 3.5 Estudi del cas).

En el Capítol 3 (apartat cf. 3.5 Estudi del cas) es comentaven les diferències entre els temps d'execució màxim i mínim per una supervisió de 20 assaigs, mitjançant l'explicació causal de la varietat de comportament.

Dins la mateixa supervisió de 20 assaigs, (v. Figura 3.14 Temps d'execució vers 20 assaigs) en els assaigs A2, A9 i A19 les diferències en temps d'execució són mínimes. Quin serà el motiu? Es conegut que la variabilitat personal confereix resultats diferents, de manera que es plausible pensar que aquestes mínimes diferències temporals són més aviat degudes a aspectes dinàmics referents a l'execució. Per fer aquesta comprovació cal observar la Taula 4.1:

Item	**A2**	**A9**	**A19**
Tex	19.5 s	18.3 s	19.2 s
Vessament	NO	NO	NO
Seguiment Pauta	Pauta C	Pauta C	Pauta C

Taula 4.1 Dades dels assaigs A2, A9 i A19

La Taula 4.1 mostra com en el seguiment de pauta de comportament no hi ha diferències entre els tres assaigs. Què es pot dir llavors sobre aquestes variacions petites de temps d'execució efectuades sense vessament?

La seqüència d'accions emprada ofereix certa claredat:

Assaig	Seqüència d'Accions
A2	**V45 V35 V25 V23 V13 V43 V14 V12** /V13 /V43 /V12 /V14 V43 V13 V12 V14 /V13 V13
A9	**V45 V35 V25 V23 V13 V43 V14 V12** /V43 /V13 /V14 V43 V14 V13
A19	**V45 V35 V25 V23** V12 V13 V43 V14 /V12 /V13 /V23 /V43 V43 /V14 V14 V13 V23 V12

Taula 4.2 Seqüència d'accions en els assaigs A2, A9 i A19

La coincidència en les 8 primeres accions és del 100% en A2 i A9. Respecte A19 hi ha un canvi d'ordre en l'obertura de V12; el que queda clar és que en les 8 primeres accions la persona obre totes les vàlvules en aquest 3 assaigs.

Després d'obrir totes les vàlvules, la persona de forma sistemàtica comença a tancar aquelles vàlvules obertes que poden causar un cert perill de vessament. El tancament de V13 i de V43 es produeix en els tres assaigs (Els tancaments es representen per /, de manera que /V13 indica el tancament de la vàlvula V13, en gris en la Taula 4.2). Després d'aquesta fase, la persona acaba obrint de nou les vàlvules. El nombre total d'accions en A2 i A19 coincideix en 18 accions, mentre que A9 mostra 14 accions.

El fet d'obrir totes les vàlvules, començant per les vàlvules inferiors, i a continuació controlar la planta obrint o tancant les vàlvules superiors, es pot il·lustrar amb la Figura 4.2 de l'evolució del llindar subjectiu d'alarma. Aquest llindar és un valor mig entre els llindars subjectius de cada un dels tancs intermitjos i s'expressa en la forma de *Llindar*. Cal observar que el màxim d'aquesta funció permet ordenar els assaigs en A9, A19, i A2; això coincideix amb una ordenació del temps d'execució ja que per A9 es te 18.3 segons, per A19 19.2 s. I finalment per A2 es te 19.5 segons.

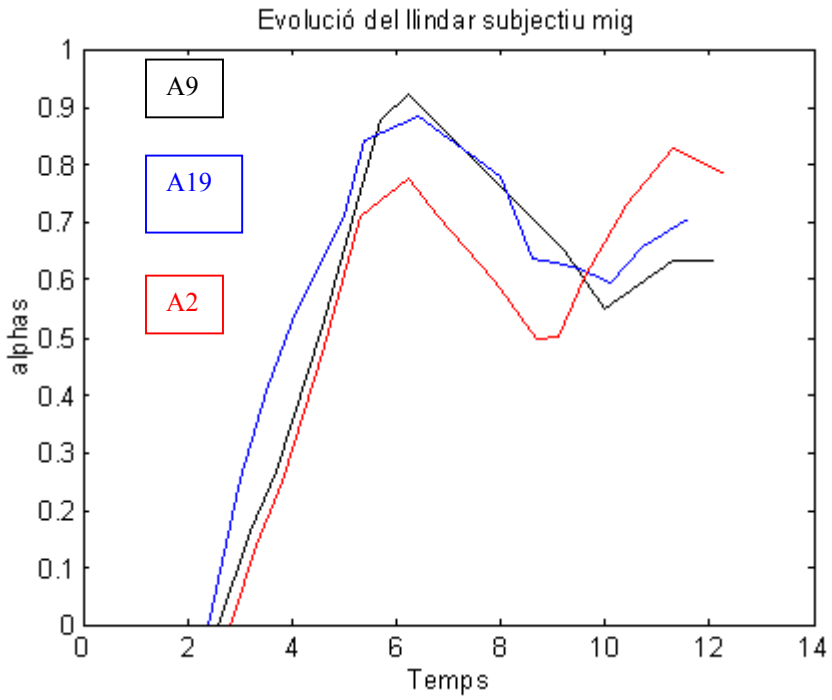

Figura 4.2 Evolució del llindar subjectiu mig

La Figura 4.2 mostra com la persona decideix augmentar el nivell d'ompliment dels tancs fins a prop del valor màxim permissible sense entrar en vessament. Aquesta situació és un clar exemple d'adequació de la dinàmica personal amb la dinàmica del micro-món. Una de les lleis físiques internes de funcionament del micro-món fa servir l'expressió

$$v = \sqrt{2gh}$$

De manera que quan més gran sigui el nivell h en un tanc intermig, més gran serà el valor de la velocitat de sortida v de líquid del tanc, i per tant, més gran serà el cabal (litres per segon) que surt de la canonada inferior del tanc. Això propicia que arribin més litres en menys temps al tanc T5, afavorint una reducció del temps d'execució. El cas més favorable és A9 ja que en igualtat de condicions amb A2 i A19, les vàlvules inferiors estan obertes i el llindar subjectiu pren el valor més alt.

Per tant, les petites variacions del temps d'execució, amb igualtat de condicions respecte no vessament i seguiment de pauta, no s'explica per diferències de comportament, sinó per diferències en l'execució, associades a la dinàmica de la planta.

4.3.Apropament amb raonament qualitatiu

En aquest apartat s'ha adoptat el punt de vista del raonament qualitatiu per establir un raonador artificial basat en regles de funcionament modelades per un grup de persones expertes externes a la prova però amb coneixement causal de la dinàmica del micro-món (Travè-Massuyès et. al. 1999).

Es conegut que el cervell humà mostra una extraordinària habilitat per categoritzar, per tal de rendir amb el més ràpid i eficient raonament. S'assumeix, per tant, que les persones

poden predir de forma precisa els estats futurs del micro-món a partir de la informació qualitativa, com per exemple "nivells de perillositat" (situació d'alarma amb risc de vessament). Aquest apartat proposa un agent artificial construït a partir de les següents línies: començant per una percepció numèrica, es fa l'abstracció d'aquesta informació en conceptes qualitatius, que són processats amb tècniques de raonament qualitatiu (Travé-Massuyès et. al. 1997). Les percepcions primitives que te una persona quan desenvolupa una prova sobre el micro-món, se suposen que són els nivells d'aigua en els tancs i les tendències (a incrementar, decrementar o mantenir estable el nivell). En una primera aproximació al problema, la hipòtesi de treball és que aquest són els factors principals que una persona pren en consideració per decidir quina acció ha de realitzar. D'altre banda, alguns investigadors accepten de forma general que l'anticipació és un aspecte crític en el raonament de la supervisió de processos (Cellier 1991 i citat a Travé-Massuyès et. al. 1999). Els operaris fan servir models mentals causals per fer prediccions qualitatives. Aquest són els trets que caracteritzen el *Naïve Qualitative Agent, NQA*, respecte altres tipus de raonadors.

4.3.1. Model de percepció del raonador

D'acord amb les consideracions precedents, una representació qualitativa del nivell d'aigua en els tancs i la tendència d'aquest nivell és introduïda per dues variables qualitatives associades a cada tanc T_i, $i=1,...,n$ per cada instant t:

1 El nivell de l'aigua $h_i(t)$ es defineix amb quatre possibles valors qualitatius

- $h_i(t)$ és EMPTY - buit - quan $h_i(t) = 0$.
- $h_i(t)$ és LOW - baix- si està per sota d'un llindar α_i, el qual especifica un nivell crític i es fa servir per especificar el concepte d'alarma. Aquesta alarma és un indicador d'anticipació en l'estratègia de control. El llindar d'alarma es determina com el volum d'aigua admissible en el tanc Ti abans que es produeixi el vessament. Aquest mode de triar el llindar d'alarma garanteix que les alarmes corresponen al mateix nivell crític per tots els tancs.
- $h_i(t)$ is HIGH - alt - quan $\alpha_i \leq h_i(t) < H_i$., (v. Figura 4.3)
- $h_i(t)$ is FULL - ple - quan $h_i(t)=H_i$.

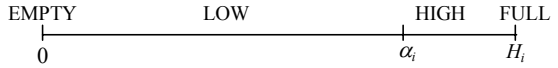

Figura 4.3 - Valors Qualitatius de l'alçada de l'aigua

2 La tendència del nivell d'aigua en el tanc Ti, $\partial h_i(t)$, pren tres possibles valors qualitatius: *inc, dec, std*. Així doncs:

- Si $h_i(t) - h_i(t-1) > 0$, llavors $\partial h_i(t) = inc$.
- Si $h_i(t) - h_i(t-1) < 0$, llavors $\partial h_i(t) = dec$.
- Si $h_i(t) - h_i(t-1) = 0$, llavors $\partial h_i(t) = std$.

4.3.2. Estratègia de control

Per cada instant *t:*

un tanc T_i està en situació d'alarma *(Al)* si el nivell de l'aigua $h_i(t)$ és HIGH o FULL, i la seva tendència és $\partial h_i(t) = inc$.

Davant la complexitat dinàmica de la planta hidràulica s'ha fragmentat el raonament per tal de distingir dos casos: el cas amb alarmes en el que hi ha un o diversos tancs en situació de vessament o propera al vessament (es a dir, tancs en situació d'alarma) i el cas sense alarmes (es adir, tancs en situació de no alarma). En cada cas, els propòsits són diferents i cal expressar les corresponents estratègies que el NQA portarà a terme.

4.3.2.1. Cas sense alarmes

Aquell cas en el que el nivell qualitatiu d'aigua està per sota de HIGH segons la Figura 4.3.

A1. Propòsits

Quan no hi ha alarmes, el principal objectiu és accelerar el procés, es a dir, transportar la màxima quantitat d'aigua des del tanc superior fins al tanc T_n per cada instant. Aquest objectiu és una resposta directa al requeriment de mínim temps de la consigna i es pot interpretar, - a partir dels elements de conducta definits en el Capítol 3 i amb efectes pràctics -, per les següents regles:

1 *Aconseguir mantenir una tendència d'increment pel tanc inferior* T_n*, es a dir* $\partial h_n(t) = inc$

2 *Incrementar al màxim el nombre de camins oberts des del tanc superior fins al tanc inferior* T_n

La primera regla té la intenció d'evitar la situació en la qual no hi ha camins oberts. La segona regla expressa el propòsit de l'acceleració. L'acció per ser duta a terme es escollida d'acord amb el nombre de camins suplementaris que cal obrir. Si dues accions tenen la mateixa conseqüència, en aquest context, s'aplica un criteri basat en el flux màxim permès pels nous camins oberts. Això es descriu amb més detalls en el proper paràgraf.

A2. Mètode

Prenent en consideració els propòsits anteriors, les accions admissibles es defineixen com aquelles en les que no es tanca cap vàlvula. El mètode utilitza el graf G i els pesos associats als arcs fets servir en el Capítol 3.

Per cada instant t de no alarma, cal fer:

Pas 1: Computar els camins que comencen en el tanc superior i acaben en el tanc inferior T_n

- Si $t = 0$, computar el conjunt de tots els possibles camins que comencen en el tanc superior T_1 i acaben en el tanc inferior T_n. Aquest conjunt s'anomena Π_0.[3]
- Si $t = k \neq 0$ actualitzar els camins en el conjunt Π_{k-1} tal com s'indica: el camí $(P_{i1i2},P_{i2i3},...,P_{(il)n}) \in \Pi_{k-1}$es actualitzat traient la capçalera de subcamins $(P_{i1i2},...,P_{i(z-1)iz})$,on $z \leq 1$ que corresponen a tancs buits

En el micro-món de 5 tancs, el conjunt Π_0 està format per 5 camins. En el cas de que T_1 i els següents tancs del graf siguin buits, els camins s'han d'actualitzar per tal de començar en el primer tanc que no estigui buit.

Pas 2: Etiquetar els camins en Π_t amb el nombre d'arcs que tenen un pes igual a zero.

Aquest nombre es correspon amb el nombre d'accions que cal dur a terme per obrir un camí. Així, per exemple, en el camí 125 si el nombre d'arcs que tenen pes igual a zero és 2, llavors les vàlvules V12 i V25 estan tancades i per obrir aquest camí sencer fan falta dues accions.

Pas 3: Determinar l'acció que cal dur a terme.

1 Si tots els camins estan oberts, l'acció del *NQA* és no fer res
2 En altre cas, considerar els camins que presenten etiqueta mínima

- Quan hi ha un únic camí a completar, - per exemple V12 oberta i V25 tancada en el camí 125 -, l'acció del *NQA* és obrir la vàlvula tancada d'aquest camí.
- Quan hi ha més d'un camí, el *NQA* utilitza el criteri min-max, que s'explica a continuació, per seleccionar un d'ells.

Criteri min-max:

- Donat un conjunt de camins p_i, $i=1,...,k$ amb etiqueta mínima, calcular per cada pi la mínima amplitud de les canonades (*min-width*); seleccionar el camí que te el màxim valor de (*min-width*). Per exemple, si d'entre tots els camins, el camí 125 presenta una amplitud de canonades de amp12 = 8 mm, amp25 = 10 mm, mentre que en el camí 135 es te amp13 = 7 mm i amp35 = 7 mm, s'escollirà el camí 125 davant el camí 135.

- Si el criteri min-max aporta un camí, l'acció del NQA és obrir la vàlvula tancada d'aquest camí. En l'exemple anterior, s'obre la vàlvula tancada del camí 125. Si el criteri min-max aporta diversos camins, - per exemple dos camins en idèntiques condicions 125 i 145 -, l'elecció d'un d'entre aquest camins es fa de forma aleatòria.

4.3.2.2. Cas amb alarmes

Aquell cas en el que per exemple el nivell qualitatiu d'aigua es igual a HIGH, o està per sobre, i la tendència és *inc* segons la Figura 4.3. Aquesta alarma està fixada de forma objectiva per aquest raonador. En el Capítol 3 s'ha definit un llindar subjectiu d'alarma associat a la persona (cf. 3.2 Valoració del risc)

[3] Aquest conjunt està format per 5 camins: {125, 135, 145, 1235, 1435} ja comentats en el Capítol 3

B1. Propòsits

Quan una o diverses alarmes estan actives, el principal objectiu és tornar a una situació de no alarma; llavors l'objectiu general d'accelerar el procés es manté. Per tant les regles són els següents ordenades per importància:

1 *No augmentar la situació d'alarma*

2 *Reduir al màxim el nombre d'alarmes*

3 *Aconseguir i mantenir l'increment per* T_n

4 *Incrementar al màxim el nombre de camins oberts cap a* T_n

La primera regla significa no empitjorar la situació d'alarma, de manera que per exemple si el tanc T3 està en alarma i V13 està oberta, procurar no obrir la vàlvula V23 ja que el nivell d'aigua en el tanc T3 encara s'incrementaria més ràpidament. La segona expressa el propòsit de retornar a una situació de no alarma, es a dir, reconduir la planta a un estat governable sense risc de vessament (Vanderhaegen i Polet 2000). La tercera i la quarta són les mateixes que en el cas sense alarmes, ja que el propòsit de l'acceleració continua essent vàlid un cop aconseguides les dues primeres regles.

B2. Mètode

El mètode està basat en una predicció anticipatòria qualitativa a un pas, després del còmput de totes les possibles accions que poden desfer la situació d'alarma, denotades com a accions admissibles.

Per cada instant t amb alarmes, cal fer:

Pas 1: Computar el conjunt A d'accions admissibles: per cada alarma AL_i (alarma en el tanc T_i) i calcular totes les possibles accions que poden desfer la situació d'alarma Al_i. Aquestes accions són:

1) Accions directes
- Tancar la vàlvula més propera d'un camí obert que arriba a T_i
- Obrir la vàlvula d'una canonada que surt directament del tanc T_i

Si no és aplicable cap acció directa:

2) Accions indirectes
- Obrir una vàlvula d'una canonada que surt del tanc superior més proper a T_i

Si no és aplicable l'acció indirecta

3) No acció

Així, per exemple, si es considera que el tanc T2 està en alarma les accions directes fan referència a l'accionament sobre la vàlvula d'entrada V12, o les vàlvules de sortida V23 o

V25, per al micro-món de 5 tancs especificat en el Capítol 2. Mentre que les accions indirectes fan referència a l'accionament sobre V13 i V14 (v. Figura 4.4).

Pas 2: Portar a terme la predicció anticipatòria qualitativa a un pas

Per cada acció admissible, una predicció anticipatòria qualitativa es porta a terme en la base de que el graf G pot ser vist com una representació de les influències causals adjacents als processos de flux.

Una acció sobre una vàlvula V_{ij}, influencia un subconjunt de tancs amb vèrtexs que defineixen un subgraf de G, anomenat $G_{V_{ij}}$. Els vèrtexs d'aquest subgraf, veure Figura 4.5, són:

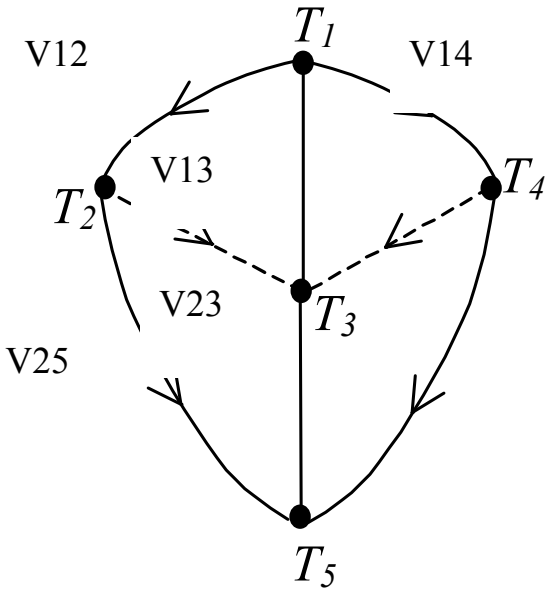

Figura 4.4. Representació del micro-món amb el graf G i destacant les accions directes sobre un hipotètic tanc T2 en situació d'alarma. V12 i V25 estan obertes de manera que es pot considerar les opcions d'accions directes d'obrir V23 o bé tancar V12

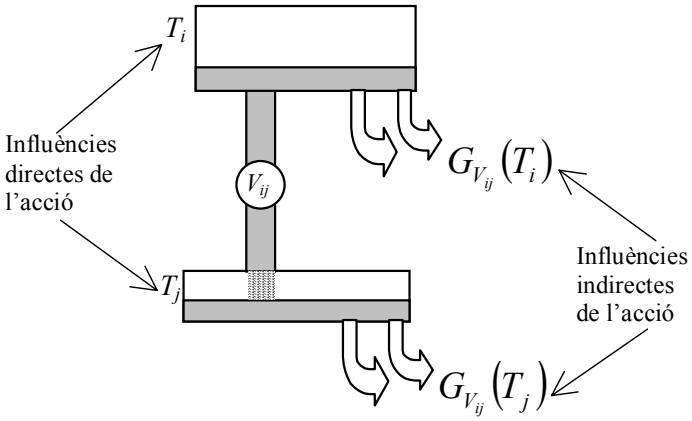

Figura 4.5. Influències directes i indirectes

- T_i i els tancs que estiguin per sobre, en aquells camins oberts que no incloguin Vij, denotat per $G_{V_{ij}}(T_i)$
- T_j i els tancs que estiguin per sota, en els camins oberts, denotat per $G_{V_{ij}}(T_j)$

T_i i T_j experimenten les influències directes, mentre que els altres tancs experimenten les influències indirectes. Notar que $G_{V_{ij}}(T_i)$ ha de creuar-se amb $G_{V_{ij}}(T_j)$ i que Tj ha de pertànyer a $G_{V_{ij}}(T_i)$. Els tancs encreuats experimenten diverses influències.

Llavors per cada tanc en $G_{V_{ij}}$, la predicció consisteix en:

Computar i combinar les influències marginals (directa i indirecta) experimentades pel tanc, es a dir els efectes de l'acció a través de diferents camins. Influència positiva (negativa) indica que la velocitat de la evolució del volum del tanc (derivada volum) es veu incrementada (decrementada). Influències positiva i negativa directes s'etiqueten amb $+\infty$ i $-\infty$ respectivament. Influències indirectes positiva i negativa s'etiqueten amb +1 i – 1 respectivament (cf. Taula 4.3).

	T_i	$\forall T_k \in G_{V_{ij}}(T_i)$	T_j	$\forall T_l \in G_{V_{ij}}(T_j)$
Obrint V_{ij}	$-\infty$	-1	$+\infty$	$+1$
Tancant V_{ij}	$+\infty$	$+1$	$-\infty$	-1

Taula 4.3. Influències resultants d' una acció sobre la vàlvula V_{ij}

Les diverses influències rebudes pel tancs son combinades en un descriptor qualitatiu Σ que vindrà expressat per la suma de les influències marginals, assumint que la suma opera en el conjunt dels nombres reals $R(\{+\infty, -\infty\})$. Si la suma és zero, llavors no s'assigna cap descriptor. L'addició del descriptor qualitatiu (+ o -) determinat a partir de Σ es resumeix en la Taula 4.4:

- De l'etiqueta de tendència (inc o dec) dels tancs, s'afegeix + o –
- De l'etiqueta de tendència (std), canviar l'etiqueta std per inc o dec
- De l'etiqueta AL dels tancs en alarma, s'afegeix + o -

$\Sigma=+$	$\Sigma=-$
$inc \rightarrow inc^+$	$inc \rightarrow inc^-$
$dec \rightarrow dec^-$	$dec \rightarrow dec^+$
$std \rightarrow inc$	$std \rightarrow dec$
$Al \rightarrow Al^+$	$Al \rightarrow Al^-$

Taula 4.4. Addició d'un descriptor qualitatiu

Les etiquetes "ampliades" es corresponen a la següent idea intuïtiva, expressada en forma d'exemple: si es disposa d'un tanc en *inc*, i s'obre una vàlvula de les de tipus superior, llavors el nivell del tanc encara s'incrementa més depesa, essent la nova etiqueta inc^+; si es

tanca una de les vàlvules superiors, llavors el nivell de l'aigua en el tanc s'incrementa menys, llavors la nova etiqueta és inc^-.

Pas 3: Escollir l'acció a realitzar.

Les accions admissibles són avaluades d'acord amb els propòsits que es troben a l'arrel de les prediccions del Pas 2. Quatre graus, G1, G2, G3 i G4 corresponents a les regles 1, 2, 3 i 4 donades en el paràgraf B1. són assignats a cada acció admissible. Graus positius representen una millora, i els negatius representen un deteriorament de la situació.

1. Si l'acció genera *n* alarmes *AL+*, *n* més gran o igual que zero, llavors G1 = - n

2. Si el nombre d'alarmes que han estat etiquetades amb *AL-* és *n*, i el nombre de noves alarmes *Al* és *m*, llavors G2 = n – m

3. Si l'estat del tanc T_n és *inc+*, llavors G3 = 2. Si l'estat del tanc T_n és *inc* o *inc-* llavors G3 = 1. Si l'estat del tanc T_n és std, llavors G3 = 0.

4. Si el nombre de camins oberts cap al tanc T_n s'ha incrementat en *n*, llavors G4 = *n*. Si s'ha decrementat en *n* , llavors G4 = - n. I si roman constant, llavors G4 = 0

Després d'aquesta graduació, la forma d'escollir l'acció recau en el còmput del grau global. S'assignen pesos p1, p2, p3, p4 de tal forma que p1>p2>p3>p4 i es normalitzen de manera que p1+p2+p3+p4 = 1. Es computa el grau global en forma de suma ponderada G per cada acció:

$$G = p1G1 + p2G2 + p3G3 + p4G4$$

El *NQA* escull l'acció que obté el màxim grau G. En cas d'ambigüitat, el *NQA* escull de forma aleatòria alguna de les accions que tenen màxim grau G.

4.4 Escenificacions de situacions

Algunes parts de l'algorisme explicat en la secció 4.3 es poden escenificar en forma d'exemples de situacions concretes.

4.4.1. Exemple 1: Nombre de camins oberts

Una persona ha realitzat la supervisió del micro-món quedant enregistrada la traça d'execució

V35 V25 V12 V23 V13 V45 V14 V43

Accions realitzades en els següents instants temporals

1.2000 2.4000 3.5000 4.8000 6.1000 7.8000 9.3000 10.4000

Amb aquestes dades i tenint en compte el nombre de camins oberts per cada instant, com a subconjunt de Π_0, es representa gràficament aquesta informació:

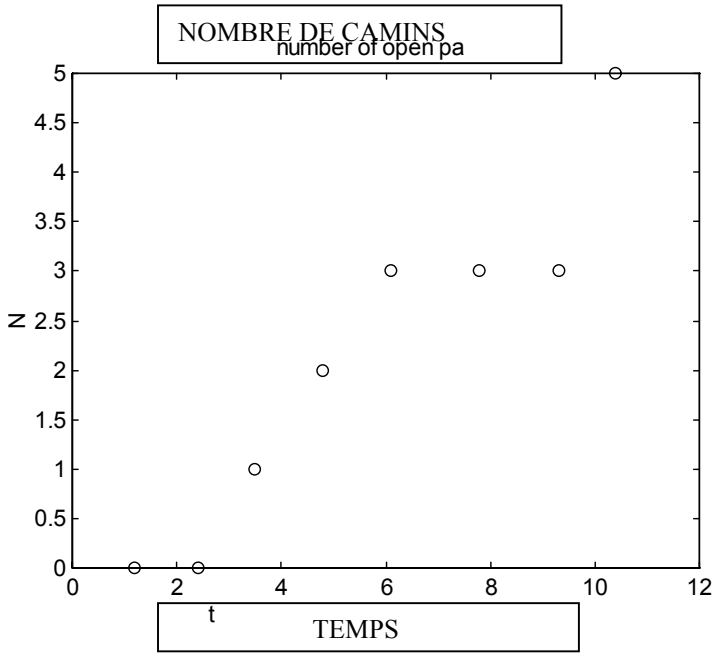

Figura 4.6 Evolució del nombre de camins oberts

Els aspectes més rellevants de la representació gràfica del nombre de camins oberts és un règim transitori amb ràpida evolució cap al valor de 5 camins, i aquelles parts de la gràfica amb pendent zero que indiquen que durant un cert interval de temps, no s'ha obert cap més camí.

4.4.2. Exemple 2: Representació qualitativa de l'estat

La Figura 4.4 mostra el graf causal corresponent a un instant concret. De forma genèrica s'escriu el vector

VALVULA = [V12(t) V13(t) V14(t) V23(t) V25(t) V35(t) V43(t) V45(t)]

De manera que per l'instant representat en la Figura 4.4 és te:

VALVULA (ti) = [1 1 1 0 1 1 0 1]

Respecte el nivell d'aigua es pot expressar en forma volumètrica o en forma d'alçada de la columna d'aigua. De forma quantitativa:

NIVELL = [h1(t) h2(t) h3(t) h4(t) h5(t)]

I de forma qualitativa ja s'ha comentat en el model de percepció el concepte de tendència (*inc, dec, std*) de forma que per diversos instants de temps la representació qualitativa del nivell és per exemple:

std std std std std
dec std std inc std
dec std std inc inc
...

Si s'utilitza un programari d'anàlisi numèric com MATLAB i emprant la següent conversió d'etiqueta a número:

Comentari	Numero vers etiqueta
Vessament	8 over
Alarma	5 al
Incrementa	2 inc
Estable	0 std
Decrementa	-2 dec
Alarma	-5 al
Vessament	-8 over

Taula 4.5 Conversió d'etiqueta qualitativa a MATLAB

El signe positiu/negatiu que s'ha afegit en la situació d'alarma (5, -5) diferencia el cas en que el nivell està per sobre de HIGH i la tendència és inc del cas en que el nivell està per sobre de HIGH i la tendència és dec. Com el període de mostreig és de 0.1 segons, s'enregistren perfectament aquestes diferències.

Sobre MATLAB es factible representar gràficament la matriu de tendència per cada un dels tancs intermitjos:

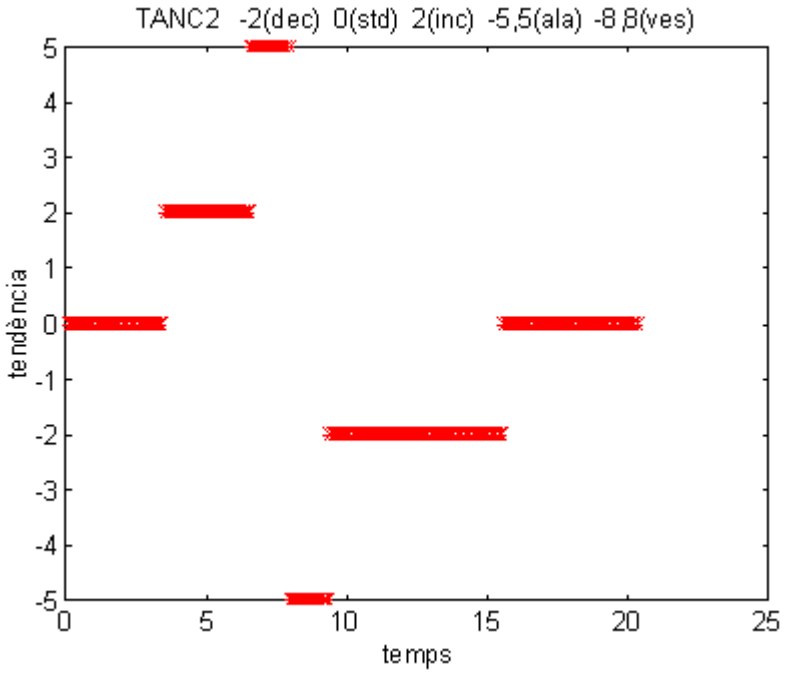

Figura 4.7 Evolució de la Tendència en el tanc T2

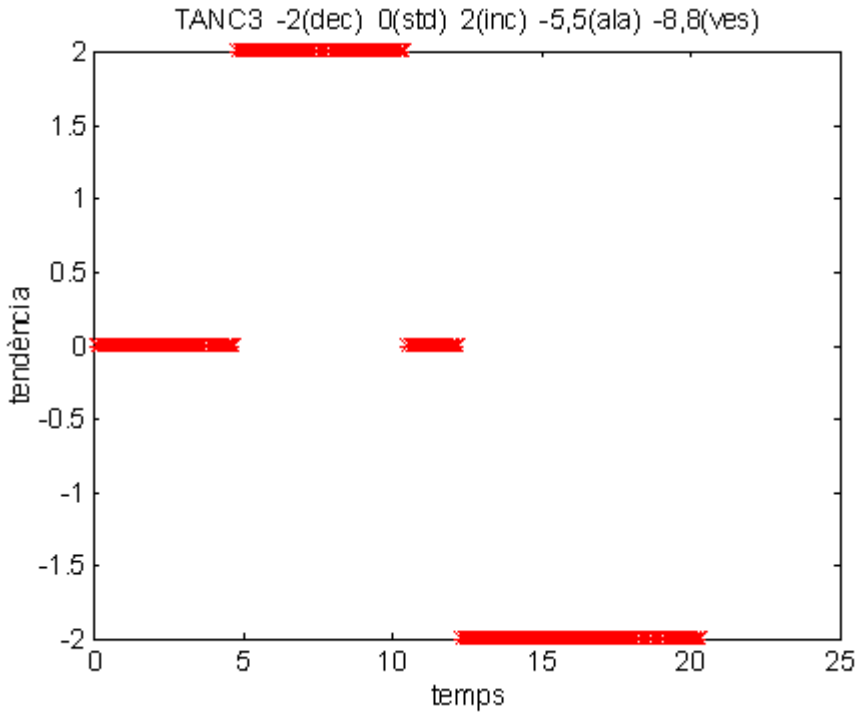

Figura 4.8 Evolució de la Tendència en el tanc T3

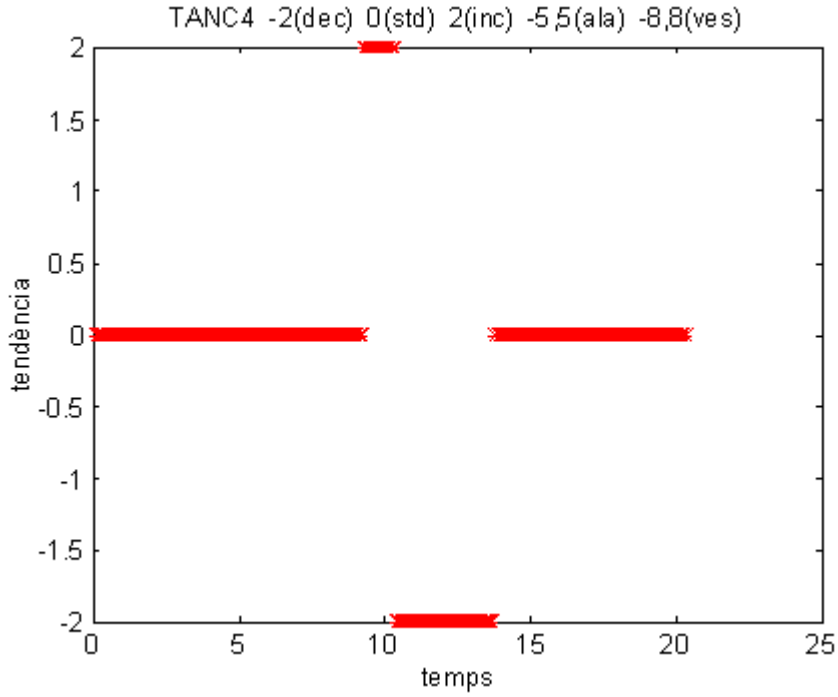

Figura 4.9 Evolució de la Tendència en el tanc T4

Les Figures 4.7 , 4.8 i 4.9 mostren la tendència qualitativa al llarg d'una prova. La situació més rellevant apareix en el tanc T2 on els descriptors qualitatius de tendència són per ordre seqüencial d'aparició: *std, inc, AL, dec, std*.

4.4.3. Exemple 3: Escenificació de cas hipotètic d'alarma

Aquest exemple mostra l'aplicació de la predicció anticipatòria qualitativa a un pas per un cas particular d'alarma. En cas de que l'escenari sigui el que reflecteix la Figura 4.10, on els tancs T3 i T4 estan en alarma:

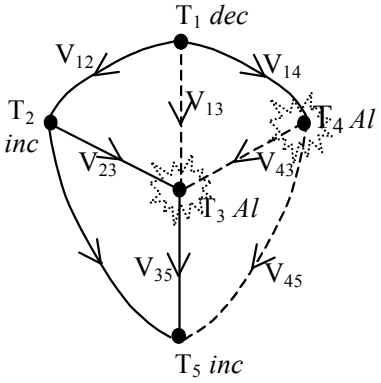

Figura 4.10 - Exemple amb dos tancs en alarma

Les accions admissibles per desfer la situació d'alarma en el tanc T4 són: tancar la vàlvula V14, obrir la vàlvula V43, o obrir la vàlvula V45. I la única acció admissible per desfer la situació d'alarma en el tanc T3 és tancar la vàlvula V23.

Llavors, per cada una de les quatre accions admissibles, la predicció qualitativa a un pas es contempla com:

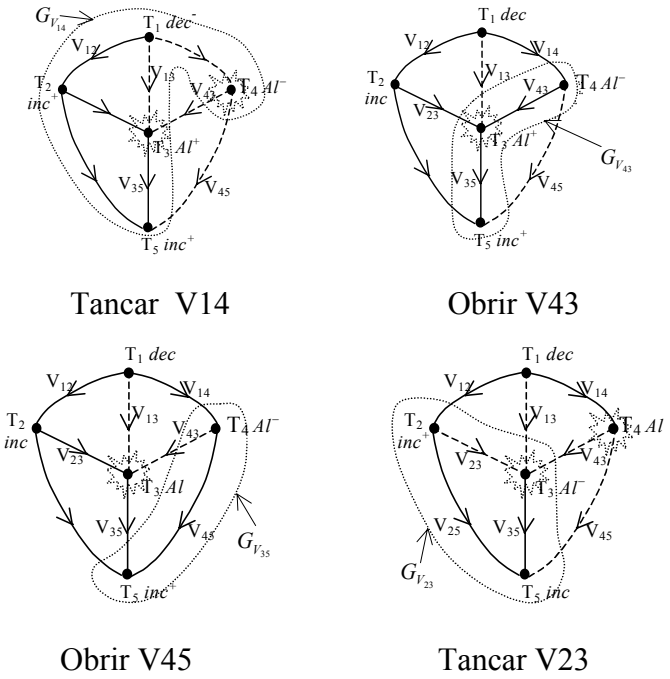

Figura 4.11 - Anàlisi de les diverses accions admissibles

Els quatre graus G1, G2, G3 i G4 assignats per cada acció admissible són els següents:

Tancar *V14*: $G_1= -1,\ G_2= 1,\ G_3= 2,\ G_4= 0.$
Obrir *V43*: $G_1= -1,\ G_2= 1,\ G_3= 2,\ G_4= 1.$
Obrir *V45*: $G_1= 0,\ G_2= 1,\ G_3= 2,\ G_4= 1.$
Tancar *V23*: $G_1= 0,\ G_2= 1,\ G_3= 1,\ G_4= -1.$

Donats els pesos $p_1 = 0.4,\ p_2 = 0.3,\ p_3 = 0.2,$ i $p_4 = 0.1,$ cada acció queda caracteritzada pel grau global: Tancar *V14* $\leftrightarrow G=0.3,$ Obrir *V43* $\leftrightarrow G= 0.4,$ Obrir *V45* $\leftrightarrow G=0.8,$ i Tancar *V23* $\leftrightarrow G=0.4$. Llavors, el raonador NQA escull l'acció que obté el grau més gran. O sigui: Tancar V45, en aquest exemple particular.

Mitjançant MATLAB, i per tal de simplificar tot aquest procés intern de càlcul, el que s'ofereix en pantalla és un missatge del tipus:

Alarma en T3 i T4: predicció qualitativa a un pas
ACCIÓ DIRECTA: es possible tancar V14
ACCIÓ DIRECTA: es possible obrir V43
ACCIÓ DIRECTA: es possible obrir V45
ACCIÓ DIRECTA: es possible tancar V23
NQA RECOMANA: obrir V14

I el valor final assignat al grau global *G*.

4.4.4. Exemple 4: Escenificació de cas experimental d'alarma

Considerant la supervisió de la persona **A2** sobre el micro-món de 5 tancs, amb una repetició de 20 assaigs per la consigna de temps mínim i sense vessament, el *NQA* pot aportar informació sobre les situacions d'alarma viscudes (v. Taula 4.6).

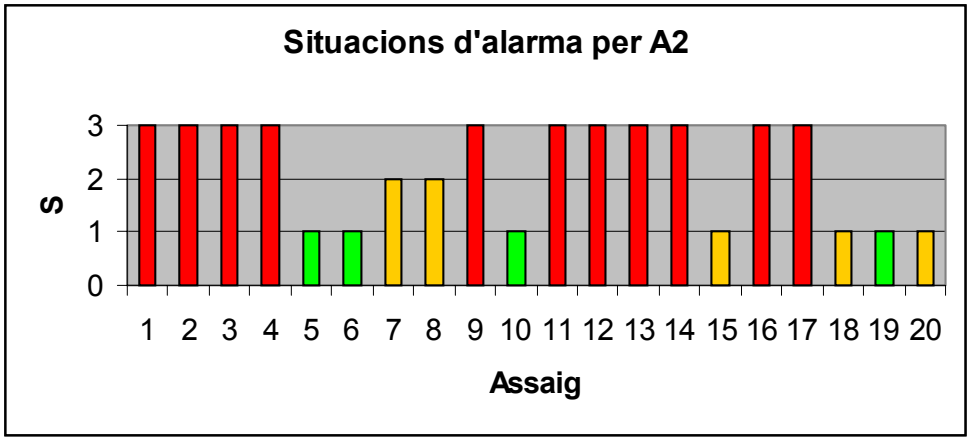

Figura 4.12 Situacions d'alarma per la supervisió efectuada per A2. En vermell es representa la situació de vessament; en àmbar es representa la situació d'alarma sense vessament i en verd la situació de no vessament i no alarma

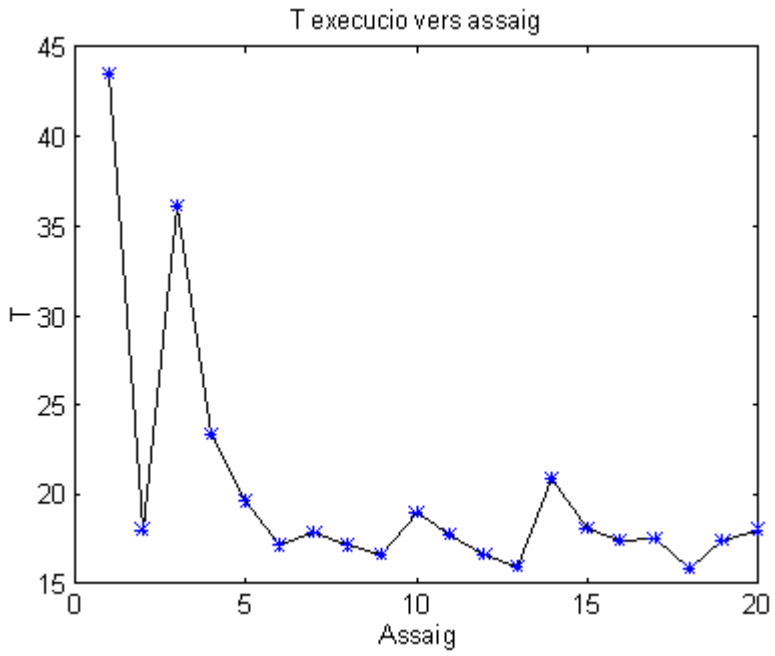

Figura 4.13 Temps d'execució per la supervisió efectuada per A2.

En l'assaig 1, A1, hi ha vessament descontrolat en els tancs T2 i T3.

La situació de vessament es manté des de l'assaig A1 fins a l'assaig A4, tot i que des de A2 fins A4 només el tanc T2 presenta la situació conflictiva.

A continuació en els assaigs A5 i A6 es mostra una aptitud més conservadora, ja que no hi ha vessament i els tancs no s'omplen fins al llindar d'alarma indicat pel *NQA*.

Els assaigs A7 i A8 mostren que la persona governa bé la planta en situació perillosa ja que hi ha alarma. En l'assaig A9 torna a haver-hi vessament. L'assaig A10 mostra de nou molta cura en la supervisió.

Els assaigs A11 fins a A14 mostren una supervisió inadequada amb vessament.

La persona entra en una dinàmica de millora i empitjorament de la supervisió oscil·lant entre les situacions de vessament o no. La Figura 4.13 mostra com el temps d'execució per cada assaig també oscil·la, alhora que però una evolució decreixent.

A partir de l'assaig A18 es consolida les situacions sense vessament.

Així, s'observa com la persona es capaç de governar el micro-món ja que passa d'una situació de complet descontrol (assaig A1), a una fase de proves i errors, fins a consolidar una supervisió sense vessament (A18 i següents). Alhora, s'aconsegueix una reducció important del temps d'execució: dels 43.5 segons del primer assaig als 15.8 segons del millor assaig, A18 (v. Figura 4.13 i Taula 4.6).

Assaig	T execució (s)	Situació
A1	43.5	Ves en T3 i T2
A2	18.0	Ves T2
A3	36.1	Ves T2
A4	23.4	Ves T2
A5	19.6	No Ves i No AL
A6	17.1	No Ves i No AL
A7	17.8	No Ves i AL T2
A8	17.1	No Ves i AL T3
A9	16.6	Ves en T3
A10	19.0	No Ves i No AL
A11	17.7	Ves T3
A12	16.6	Ves T3
A13	16.0	Ves T2
A14	20.9	Ves T3
A15	18.1	No Ves i AL T3
A16	17.4	Ves T3
A17	17.5	Ves T3
A18	15.8	No Ves i AL T3
A19	17.4	No Ves i No AL
A20	18.0	No Ves i AL T3

Taula 4.6 Situacions d'alarma o no de la supervisió de A2, segons *NQA*

L'anàlisi es pot continuar, observant els següents fets:

- En 5 ocasions la persona s'enfronta a una situació de No Ves i AL. El *NQA* indica una sèrie d'accions admissibles mitjançant accions directes e indirectes. La tendència majoritària de resposta de la persona en aquestes situacions es tancar la vàlvula d'entrada al tanc en alarma. Si el tanc és T2, llavors la persona tanca V12.
- En situacions de no alarma, No AL, el raonador *NQA* prioritza l'obertura de camins complerts. Per la supervisió de la persona en aquest assaigs on s'observa no alarma, el nombre màxim de camins oberts per assaig és de 4 camins.
- L'assaig A18 es especialment significatiu ja que és l'assaig que millor segueix la consigna. Es produeix sense vessament i amb un temps d'execució de 15.8 segons. Si s'observen els assaigs precedents, la persona arrisca decididament sobre governar l'aigua molt a prop del valor màxim del nivell permès. En concret, per l'assaig A18, el llindar subjectiu d'alarma pren un valor del 96.48 % del valor de H3MAX, de manera que fins i tot sobrepassa el valor fixa't objectivament pel *NQA* en el 90 %

4.4.5. Exemple 5: Escenificació de cas experimental d'alarma per un grup

De la sessió experimental amb 6 estudiants fent la supervisió del micro-món, 20 vegades, al llarg de l'any 2001, s'obté un mapa de situacions d'alarma. De fet es divideixen tres possibilitats: assaig amb vessament (V), assaig sense vessament però en situació d'alarma segons l'agent artificial *NQA* (No V i AL) i finalment assaig sense vessament i en situació

de no alarma (No V i No AL). En aquest mapa el llindar d'alarma és objectiu i extern a les persones que fan la supervisió.

Persona	V	No V i AL	No V i No AL
A2	11	5	4
E1	9	2	9
B2	5	7	8
A1	12	1	7
B1	10	2	8
C2	11	4	5

Taula 4.7 Separació dels 20 assaigs realitzats per les persones en funció de tres situacions: vessament (V), situació d'alarma sense vessament (No V i AL) i situació sense alarma ni vessament (No V i No AL)

Les files de la Taula 4.7 mostren informació per cada persona. Així la persona A2 en la supervisió del micro-món fa 20 assaigs, dels quals 11 són amb vessament, 5 són de no vessament però en situació d'alarma en algun tanc intermig i 4 són de no vessament i de no situació d'alarma (nivell d'ompliment dels tancs intermitjos per sota del llindar α_i).

Les columnes de la Taula 4.7 mostren el nombre de situacions per cada persona. La columna de vessament V mostra la dificultat de realitzar una supervisió eficaç ja que la complexitat del micro-món fa que sigui difícil obtenir un resultat sense vessament. Ara bé, les persones aconsegueixen realitzar assaigs sense vessament, per exemple A2 en realitza 9, de manera que l'aprenentatge de la persona i la planificació acurada es posen de manifest tal com s'ha vist en el Capítol 3.

A destacar la columna referent a la situació de no vessament i situació d'alarma. Així per exemple, s'observa que la persona A1 s'enfronta una sola vegada a la situació de no vessament i alarma de manera que oscil·la entre els extrems de vessament en 12 ocasions (descontrol) a no vessament i no alarma en 7 ocasions (cautela). La columna destacada en gris en la Taula 4.7 és especialment important quan es vol estudiar la resposta de les persones a situacions dinàmiques inestables que poden derivar en un dany per les persones i màquines en el domini industrial. A destacar en concret que les persones A2 i B2 realitzen el seu millor assaig en aquesta situació de no vessament i alarma, mentre que el millor assaig de E1, A1, B1 i C2 es produeix en la situació de no vessament i no alarma. El canvi de situació es governable per la mateixa persona, així en el cas de E1 la supervisió és acurada si s'observa el seu rendiment (v. Capítol 3) i alhora aquesta persona s'anticipa a la situació d'alarma objectiva fixada per l'agent artificial preferint conduir la situació a no vessament i no alarma (en 10 ocasions) que no pas a una situació d'alarma (1 ocasió).

Finalment, per aquest grup de 6 estudiants es disposa de 120 assaigs, la suma dels elements de la columna de vessament V mostra que d'aquest 120 assaigs 58 mostren una situació de vessament i 62 una situació de no vessament. Dels 62 casos de no vessament en 28 ocasions es manifesta la situació de no vessament i alarma i en 34 ocasions es manifesta la situació de no vessament i no alarma. .

4.5. Comparació del raonador amb les accions humanes

La comparació es porta a terme partint de la base de la seqüència d'accions realitzada per la persona, realitzant la comprovació per cada mostra. L'absència d'acció en la persona és considerada com una acció de tipus "no-acció". La sessió de test és organitzada de manera que per cada instant de temps, la persona i el raonador artificial prenen una decisió sobre la propera acció de control, i aquestes accions poden ser comparades directament. Cada instant de temps ens proveeix amb una nova mostra experimental. L'acció de la persona s'executa sempre mentre que l'acció recomanada per l'agent és passiva en el sentit de *què hauria decidit el NQA* en aquella situació dinàmica en la que es troba la persona.

Una comparació de les accions es realitzada mostra a mostra, i l'avaluació final de com de similar és el raonament entre persona i raonador artificial s'obté dels resultats a partir del conjunt de mostres.

Aquesta secció assumeix que el raonament de la persona es pot comparar amb l'estil cognitiu del raonador *NQA* i es proposa una distància local, la qual es pot fer servir per mesurar l'evolució del raonament humà donat aquest estil cognitiu, a través de diverses sessions en el temps.

El raonador proposat *NQA* presenta una presa de decisió de l'acció admissible idònia basada en el concepte d'alarma i en la distinció respecte dues situacions, amb i sense alarmes.

4.5.1. Cas sense alarmes

L'estratègia del raonador *NQA* és accelerar el procés obrint camins. En conseqüència, una acció humana que tanqui una vàlvula és una acció no admissible. Per cada acció admissible, un grau G es associat, el qual es fa servir per calcular la distància final, assessorant la comparació.

Es defineix GH com el grau de l'acció humana, i GA com el grau de l'acció artificial. L'acció del raonador artificial es graduada amb GA = 0, i s'agafa com a referència.

Notar que els únics casos que poden succeir són:

Acció *NQA*	**Acció humana**	**Grau acció humana**
No acció	No acció	GH=0
Obrir vàlvula	Obrir vàlvula	GH=G1
Obrir vàlvula	No acció	GH=G2

Taula 4.8 Grau d'acció admissible humà

On G1 i G2 s'obtenen seguint el mateix criteri fet servir en l'estratègia del *NQA*.

Per computar G1, es defineix:

D = (mínima etiqueta dels camins que travessen per la vàlvula accionada per la persona) – (mínima etiqueta dels camins que travessen per la vàlvula accionada pel *NQA*).

- Si D és diferent de zero, llavors G1 = D.

- Si D = 0, considerar els k camins amb etiqueta mínima i s'agafa l+1 com el nombre de classes d'equivalència definides pel valor *min-width* ordenades de forma decreixent. La classe 0 inclou el camí(ns) que va a través de la vàlvula accionada pel *NQA*. S'assumeix que el camí amb el màxim *min-width* que va a través de la vàlvula accionada per la persona pertany a la classe d'equivalència i, llavors G1=i/l.

En el cas de que la persona no fa cap acció malgrat l'existència d'alguna vàlvula tancada, el grau és: G2= 1 + (màxima etiqueta d'entre tots els camins cap a Tn) – (mínima etiqueta dels camins que van a través de la vàlvula accionada pel NQA).

Notar que G2 és més gran o igual que G1. Això satisfà el fet de que quan hi ha alguna vàlvula tancada, el propòsit d'accelerar el procés fa que sigui millor obrir alguna vàlvula que no fer res.

4.5.2. Cas amb alarmes

L'estratègia del NQA és retornar a una situació de no alarma, mentre es mantingui com a prioritat més baixa, l'objectiu general d'accelerar el procés. El grau global G computat per seleccionar l'acció (cf. 4.3.2.2.) es fa servir. Tal com abans, GH és el grau de l'acció humana i GA és el grau de l'acció artificial.

Per exemple, la Figura 4.14 mostra algunes possibles formes gràfiques del grau GH. Cada una de les formes de GH de la Figura 4.14, responen a comportaments diferents realitzats per l'autor d'aquestes línies:

- A dalt i esquerra: supervisió satisfactòria sense vessament i amb un temps d'execució de 18 segons
- A dalt i dreta: un estil humà diferent al del raonador NQA. L'aigua passa a través dels tancs intermitjos considerant que el tanc s'ompli quan està pràcticament buit i que el tanc es buidi quan està pràcticament ple, tal com faria un control seqüencial tipus PLC considerant els senyals provinents de dos sensors situats adequadament a baia i a dalt del tanc
- A baix i esquerra: una supervisió amb una persona distreta amb dues situacions d'alarma. Les distraccions o les accions inadequades provoquen el canvi brusc de GH des de 3 a zero, o bé de 0 a 2 i després a 0.
- A baix i dreta: una supervisió dolenta amb quatre situacions d'alarma i amb vessament descontrolat. L'augment dels temps d'execució, fins a 35 segons, i la poca eficàcia porten a una gràfica que presenta l'àrea sota la corba més gran de totes les 4 gràfiques.

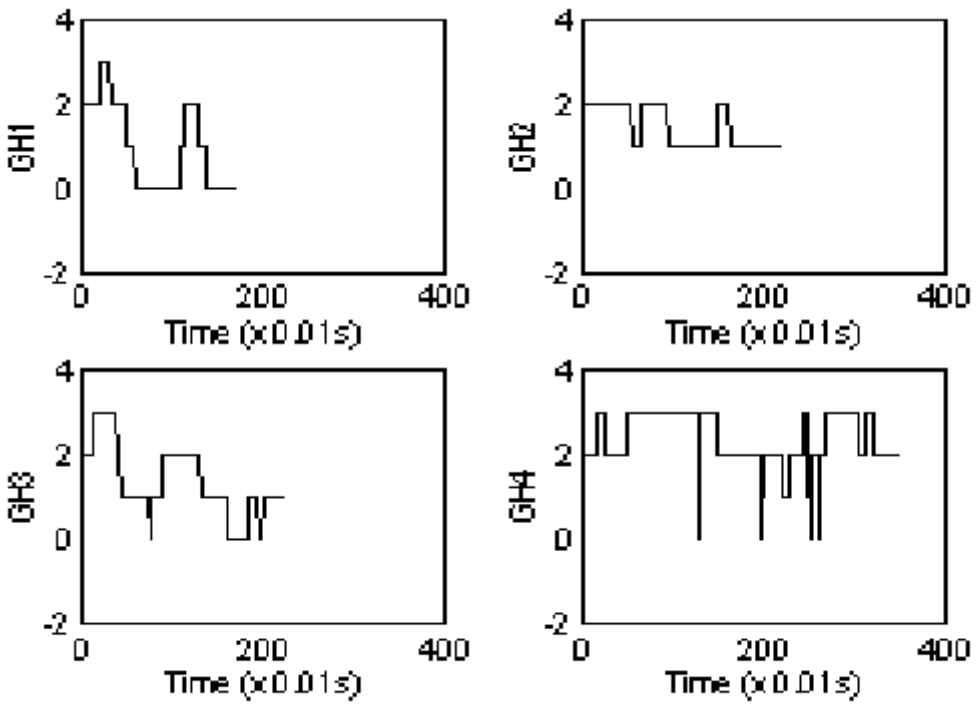

Figura 4.14: Diverses formes del Grau GH a partir de diverses supervisions realitzades per la mateixa persona

4.5.3. Comparació

La diferència $\left| GA(t) - GH(t) \right| = Dt$ és computada per cada acció humana admissible des de t=1 fins a t = tf on tf és l'instant que defineix la fi de la sessió de test (no hi ha més aigua en els tancs intermitjos). Sigui ti1, ti2, ,...,,tin els instants corresponents a les accions humanes admissibles. Llavors s'obté un vector D =(Di1, .., Dim).

Per mesurar la similitud entre els graus de la persona i el raonador artificial, s'utilitza la forma d'una norma de dimensió tf a partir del vector D:

$$d = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{m} \left(Dt_{ij} \right)^2}{m}}$$

Aquestes distància prové de la norma euclídea a R^m. Aquesta distància avalua el valor mig de les mostres experimentals. En el cas límit hipotètic de que la distància d tendeixi a zero , o sigui si totes les accions de la persona coincideixen amb les accions del raonador artificial, s'assumeix que tenen el mateix estil cognitiu.

4.5.4. Escenificació experimental de la comparació

Per tal de validar l'algorisme implementat i el mecanisme de comparació, es proposa el següent estudi de validació. Es considera el subgrup experimental de persones del Capítol 3, que realitzen la supervisió sobre micro-món amb la consigna de mínim temps i sense vessament. En primer lloc es considera per la persona A2 el pitjor assaig i el millor assaig - en funció del seguiment de consigna -, per tal de fer una valoració de l'acció humana vers l'artificial.

Pitjor assaig de A2
La persona A2 realitza la supervisió més inadequada en el primer assaig. En aquest assaig la situació és de vessament en el tanc T3, i situació d'alarma en el tanc T2. El temps d'execució és de 43.5 segons. La cadena de patrons seguida per la persona és un fragment de la pauta A: P0—P1—P2—P3.

El temps d'execució 43.5 segons es divideix en tres fases:
Fase1: de l'inici de la simulació fins a la primera acció: 12.9 segons
Fase 2: seqüència d'accions: 19.5 segons
Fase 3: de la darrera acció a la fi de la simulació: 11.1 segons

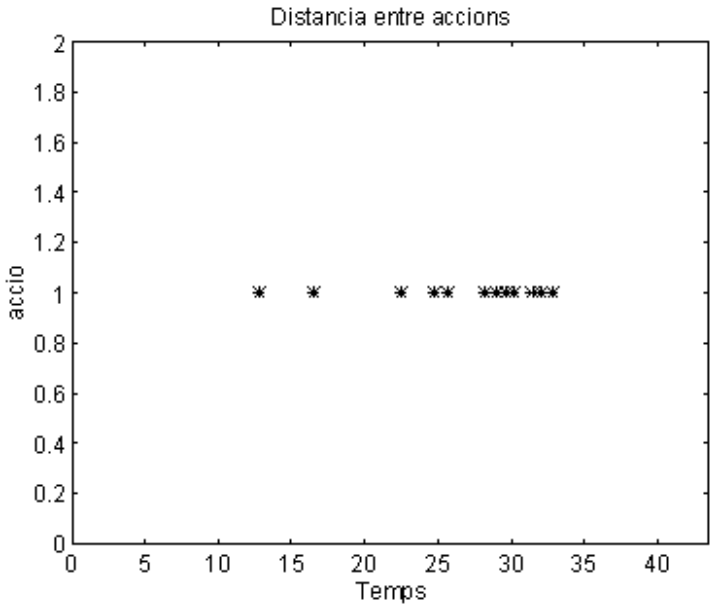

Figura 4.15. Seqüència d'accions respecte el temps total d'execució de 43.5 segons

A2 realitza 12 accions en els següents instants de temps (en segons):

12.9 16.3 22.3 24.5 25.5 28.0 28.8 29.4 30.0 31.2 31.8 32.4

Les primeres accions es produeixen amb lentitud tal com s'observa en la durada no periòdica entre accions:

3.6 6 2.2 1 2.5 0.8 0.6 0.6 1.2 0.6 0.9

Així per exemple, la persona A2 triga 6 segons en passar de la segona a la tercera acció i en canvi triga 0.6 segons en passar de l'acció setena a la vuitena.

Les situacions d'alarma presents al llarg de la simulació es manifesten en els següents instants de temps (en segons):

15.5 15.6 15.7 15.8 15.9 27.7 27.8 27.9 28.9 29.0 29.1 29.2 29.5 29.6 29.7

Per interpretar com es relaciona la seqüència d'accions de la persona amb l'evolució dinàmica del micro-món cal emprar la comparació entre intervals temporals i instants en que es produeix una acció:

- (12.9): la persona obre la vàlvula V13

- Inici de la situació d'alarma. [15.5 15.6 15.7 15.8] : situació d'alarma en el Tanc T3. La persona no fa cap acció en aquest interval. L'agent *NQA*, mitjançant la predicció anticipatòria qualitativa a un pas recomana:

  Alarma en 3: Predicció a un pas
  A DIRECTA: es podria tancar V13
  A DIRECTA: es podria obrir V35
  A INDIRECTA: es podria obrir V12
  A INDIRECTA: es podria obrir V14
  A INDIRECTA: es podria obrir V25
  A INDIRECTA: es podria obrir V45
  Es recomana obrir V35

- [15.9 16.0 16.1 16.2 16.3]: situació de vessament descontrolat en el Tanc T3

- (16.3) : la persona tanca la vàlvula V13 en aquest instant. Han passat 3.4 segons des de (12.9) en els que la inacció humana ha provocat la situació d'alarma i el vessament descontrolat.

- (22.3) : la persona obre V14

- (24.5) : la persona tanca V14. En aquesta situació el criteri del *NQA* recomana que en situació de no alarma en el Tanc T4 es completin els arcs fins a obtenir un camí obert. Es a dir que *NQA* recomana obrir V45 per completar el camí 145. Per *NQA* es inadmisible que en situació de no alarma es tanqui V14.

- (25.5) : la persona obre V12

- [27.7 27.8 27.9] : situació d'alarma en el Tanc T2. La persona no fa cap acció en aquest interval. L'agent *NQA*, mitjançant la predicció anticipatòria qualitativa a un pas recomana:

  Alarma en 2: Predicció a un pas
  A DIRECTA es podria tancar V12
  A DIRECTA: es podria obrir V23

A DIRECTA: es podria obrir V25
A INDIRECTA: es podria obrir V13
A INDIRECTA: es podria obrir V14
Es recomana obrir V25

- (28.0) : hi ha coincidència de vessament en el Tanc T2 alhora que la persona fa l'acció de tancar la vàlvula V12

- (28.8) : la persona obre la vàlvula V25

- [28.9 29.0 29.1 29.2] : la situació dinàmica en el tanc T2 indica que encara hi ha alarma ja que el nivell és més gran que el valor HIGH, però la tendència és a decrementar *dec*

- (29.4) : la persona obre la vàlvula V35

- [29.5 29.6 29.7] : la situació dinàmica en el tanc T3 indica que encara hi ha alarma ja que el nivell és més gran que el valor HIGH, però la tendència és a decrementar *dec*

- Fi de la situació d'alarma

- (30.0) : la persona obre la vàlvula V45. En aquest instant totes les vàlvules inferiors estan obertes però el nombre de camins oberts és zero. Així la persona obre totes les vàlvules inferiors V25 V35 V45 i després obrirà les superiors V13 V12 V14 mentre que *NQA* en situació de no alarma es decanta per obrir camins sencers d'un en un, per exemple V12 V25 i després V14 V45 i finalment V13 V35

- (31.2) : la persona obre la vàlvula V13. Del patró de conducta P0 es passa a P1 i el nombre de camins oberts és igual a 1.

- (31.8) : la persona obre la vàlvula V12

- (32.4) : la persona finalitza la seva execució obrint la vàlvula V14. El nombre final de camins oberts és 3 i s'ha concretat el fragment de cadena P0—P1—P2—P3 associable a la pauta de comportament A.

Millor assaig de A2
La persona A2 realitza la supervisió més acurada en l'assaig divuitè. En aquest assaig la situació és de no vessament i situació d'alarma en el tanc T3. El temps d'execució és de 15.8 segons. La cadena de patrons seguida per la persona és clarament molt semblant a la pauta C P0—P1—P4—P2—P3—P6 amb dos llaços entre P2 i P3 i entre P3 i P6.

El temps d'execució 15.8 segons es divideix en tres fases:
Fase1: de l'inici de la simulació fins a la primera acció: 0.5 segons
Fase 2: seqüència d'accions: 10.6 segons
Fase 3: de la darrera acció a la fi de la simulació: 4.7 segons

La persona redueix significativament l'interval que va des de que comença la simulació fins que fa la primera acció. Alhora també es redueix la fase 3, poc rellevant en l'estudi.

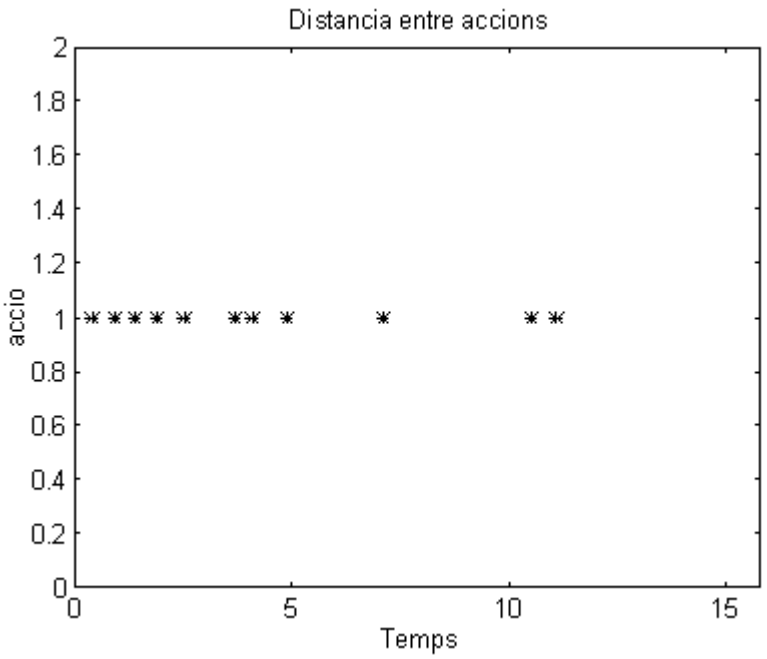

Figura 4.16. Seqüència d'accions respecte el temps total d'execució de 15.8 segons

A2 realitza 11 accions en els següents instants de temps (en segons):

0.5 1.0 1.5 2.0 2.6 3.8 4.2 5.0 7.2 10.5 11.1

La primera acció es produeix 0.5 segons després d'iniciar-se la simulació. La durada no periòdica entre accions és:

0.5 0.5 0.5 0.6 1.2 0.4 0.8 2.2 3.3 0.6

La persona es capaç de fer dos accions consecutives en 0.4 segons, quan en l'assaig inicial l'interval més curt entre accions era de 0.6 segons. L'interval més gran observat en aquest divuitè assaig és 3.3 segons, mentre que al primer assaig era de 6 segons.

Les situacions d'alarma presents al llarg de la simulació es manifesten en els següents instants de temps (en segons):

4.7 4.8 4.9 5.0 5.1 5.2 5.3 5.4 5.5 5.6 5.7 5.8 5.9 6.0 6.1 6.2 6.3 6.4 6.5

Per interpretar com es relaciona la seqüència d'accions de la persona amb l'evolució dinàmica del micro-món cal emprar la comparació entre intervals temporals i instants en que es produeix una acció:

- (0.5) : la persona obre V14
- (1.0) : la persona obre V43
- (1.5) : la persona obre V45 i completa el camí 145
- (2.0) : la persona obre V35 i completa el camí 1435

- (2.6) : la persona obre V13 i completa el camí 135

- (3.8) : la persona obre V12

- (4.2) : la persona obre V25 i completa el camí 125. En aquesta situació la persona ha obert 7 de les 8 vàlvules possibles i segueix clarament la pauta C amb el fragment P0—P1—P4—P2. Important destacar que aquest fragment fa acte de presència *abans* de la situació d'alarma, mentre que el fragment P0—P1—P1—P2—P3 feia acte de presència en el divuitè assaig *després* de la situació d'alarma.

- [4.7 6.5] : Situació d'alarma en el Tanc T3. La situació d'alarma es manté al llarg d'aquest interval, extrems inclosos, durant 1.8 segons. La supervisió de la persona fa que el tanc T3 estigui en alarma: l'aigua prové de les canonades 13 i 43.

- [4.7 4.8 4.9] : en aquest subinterval la persona no fa cap acció mentre que el NQA recomana

Alarma en 3: Predicció a un pas
A DIRECTA: es podria tancar V13
A DIRECTA: es podria tancar V43
Es recomana tancar V13

- (5.0) :. La persona tanca la vàlvula V13. En aquest cas hi ha coincidència entre la recomanació de NQA i l'acció feta per la persona. Malgrat això, aquesta acció és insuficient per desfer la situació d'alarma ja que la canonada 43 continua oberta. L'agent NQA en aquest instant observa que la persona ha fet el tancament de la vàlvula que ell mateix aconsellava tancar, de manera que ara la seva recomanació canvia a :

Alarma en 3: Predicció a un pas
A DIRECTA: es podria tancar V43
Es recomana tancar V43

I aquesta recomanació es manté des de l'instant 5.0 s fins al darrer instant d'alarma 6.5 s en el tanc T3

- [5.1 6.5] : la situació dinàmica en el tanc T3 indica que encara hi ha alarma ja que el nivell és més gran que el valor HIGH, però la tendència és a decrementar *dec*. La persona no considera oportú realitzar cap acció.

- Fi de la situació d'alarma

- (7.2): la persona torna a obrir la vàlvula V13

- (10.5): la persona obre la vàlvula V23, omplint encara més el tanc T3

- (11.1) : la persona tanca la vàlvula V23 i finalitza aquí la seva seqüència d'accions. Les darreres 4 accions han significat un retrocés en l'evolució de patrons cap al patró P6 seguint la pauta C, de manera que la cadena finalitza en el patró P3.

Respecte els nivells màxims assolits en cada tanc intermig en la supervisió efectuada és interessant destacar que el nivell màxim en el tanc T2 ha estat 2.11, mentre que el nivell màxim en el tanc T4 ha estat 1.94, de manera que l'aspecte visual per la persona que fa la supervisió és de nivells semblants. La persona desconeix els valors numèrics de nivells màxims, de manera que en realitat els percentatge d'ompliment en el tanc T2 és del 68.61 %, mentre que en el tanc T4 és del 52.30%. L'aspecte més rellevant és que el percentatge d'ompliment del tanc T3 és del 96.48% per sobre del llindar del 90% de l'agent NQA i que mostra una clara tendència arriscada a prendre una decisió en el límit de la situació de no vessament.

En segon lloc en aquesta comparació es te en compte la representació gràfica del vector $\left| GA(t) - GH(t) \right| = Dt$ definit en la darrera subsecció.

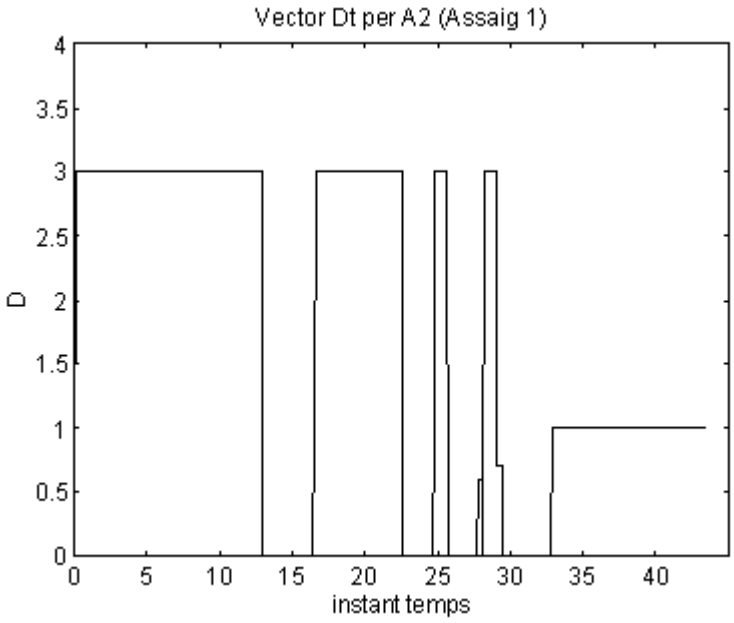

Figura 4.17. Representació gràfica del vector Dt per la persona A2 en el pitjor assaig

La Figura 4.17 mostra la forma del vector Dt per la persona A2 en el pitjor assaig. Durant el període de 12.9 segons d'inactivitat humana l'agent NQA assigna el valor de Dt = 3 i GH = 3. Al llarg de la supervisió fins a 43.5 segons, el vector Dt mostra diverses vegades el valor de 3, i això fa que l'àrea sota la corba sigui notable

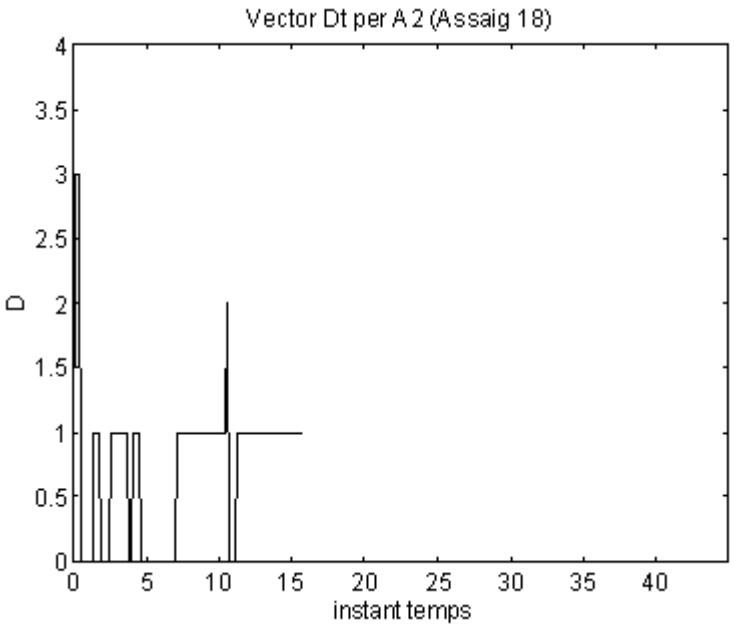

Figura 4.18. Representació gràfica del vector Dt per la persona A2 en el millor assaig

La Figura 4.18 mostra el valor del vector Dt per la persona A2 en el millor assaig. Passat el període inicial en que Dt = 3, així com GH = 3, el valor del vector Dt decau ràpidament cap a l valor de Dt = 1, tot i que en un instant pren el valor de Dt = 2. Com a comparació amb la Figura 4.17, el vector Dt ocupa aproximadament la tercera part de la gràfica ja que el temps d'execució arriba a 15.8 segons.

El raonament de la persona A2 es pot comparar amb l'estil cognitiu del raonador *NQA* considerant sobre la recta la distància al valor de 0 com a referent de l'estil cognitiu de NQA.

Figura 4.19. Representació gràfica de la distància euclídea d sobre la recta R per la persona A2

La disminució/augment de l'àrea del vector Dt està relacionat amb una distància euclídea de valor numèric baix/alt. Aquestes diferències d'àrea es corresponen amb la situació de govern del micro-món proper al raonament emprat per l'agent NQA (disminució de l'àrea) o llunyà al raonament emprat per NQA (augment de l'àrea). Per la persona A2, en el pitjor assaig la distància euclídea és d = 2.1383, mentre que en el millor assaig la distància euclídea pren el valor d = 0.9676. Del pitjor al millor assaig la persona A2 aconsegueix fer una supervisió eficaç i en alguns moments s'apropa a l'estil cognitiu de l'agent artificial NQA.

A destacar la dificultat en la interpretació gràfica del vector Dt i la distància d ja que l'agent es compara amb el pitjor i millor assaig de cada persona, tot i que cada persona pot generar una supervisió particular.

Persona	Distància d en el Pitjor Assaig (alarma i vessament)	Distància d en el Millor Assaig (alarma i no vessament)	Situació
A2	2.1383	0.9676	AL T3
E1	1.1048	0.8473	AL T2
B2	0.7568	0.6465	AL T3
A1	0.7061	0.7026	AL T3
B1	0.9051	0.5926	AL T3
C2	0.8073	0.7429	AL T3

Taula 4.9. Valoració de la distància euclídea en el pitjor i millor assaig d'un grup de persones

Per la persona A2, proporcionalment la distància presenta una millora del 54.75 % del pitjor al millor assaig, respecte al valor referència al del NQA. Aquesta proporció depèn de la persona que fa la supervisió, la situació dinàmica (vessament o no, situació d'alarma o no) i de la valoració que fa l'agent NQA (v. Taula 4.9). Per altres persones, com per exemple C2, la proporció entre aquest dos assaigs és de 7.97%; la diferència entre el "pitjor" i el "millor" assaig" no es tan clara ja que el rendiment d'aquesta persona en general es baix al llarg dels 20 assaigs.

4.6. En resum

En aquest capítol es planteja la percepció del risc sobre la tasca de supervisió del micro-món per tot seguit associar-la al nivell d'ompliment dels tancs intermitjos i finalment emmarcar el concepte d'alarma des del punt de vista de llindar subjectiu d'alarma i llindar automàtic d'alarma definit per un agent artificial basat en raonament qualitatiu.

L'apropament amb raonament qualitatiu ofereix una estructura automàtica causal expressada en la forma de:

- Model de percepció qualitatiu
- Estratègia de raonament amb predicció qualitativa a un pas
- Selecció de l'acció recomanada

Això constitueix un agent artificial anomenat *NQA*, essent aquest el primer representant de una llibreria d'agents qualitatius

El disseny d'aquest agents permet l'inici de la comparació entre raonament humà i artificial - aspecte aquest útil en l'assessorament artificial de l'activitat -. Aquesta comparació es planteja en dues vessants

- Assignació numèrica a les regles G1, G2, G3 i G4 i assignació d'un grau global a la persona GH i a l'agent GA
- Mesura de similitud entre l'acció humana i l'artificial mitjançant la distància euclídea que recull la suma de les comparacions entre parells d'accions

Què posa en evidència el *NQA* respecte la supervisió portada a terme per les persones? En primer lloc el tractament de situacions d'alarma, contrastable entre agent i persona per tal de veure com les persones s'enfronten a situacions de risc. En segon lloc, i atenent al fet de que les regles del *NQA* segueixen la consigna, l'agent indica clarament quan una persona està realitzant un pèssim govern del micro-món, sigui per presència de vessament o sigui per la no conveniència d'algunes accions realitzades. En tercer lloc, i com que el *NQA* presenta un raonament singular, les mesures de similitud permeten diferenciar raonaments propers o llunyans de les persones front al *NQA*.