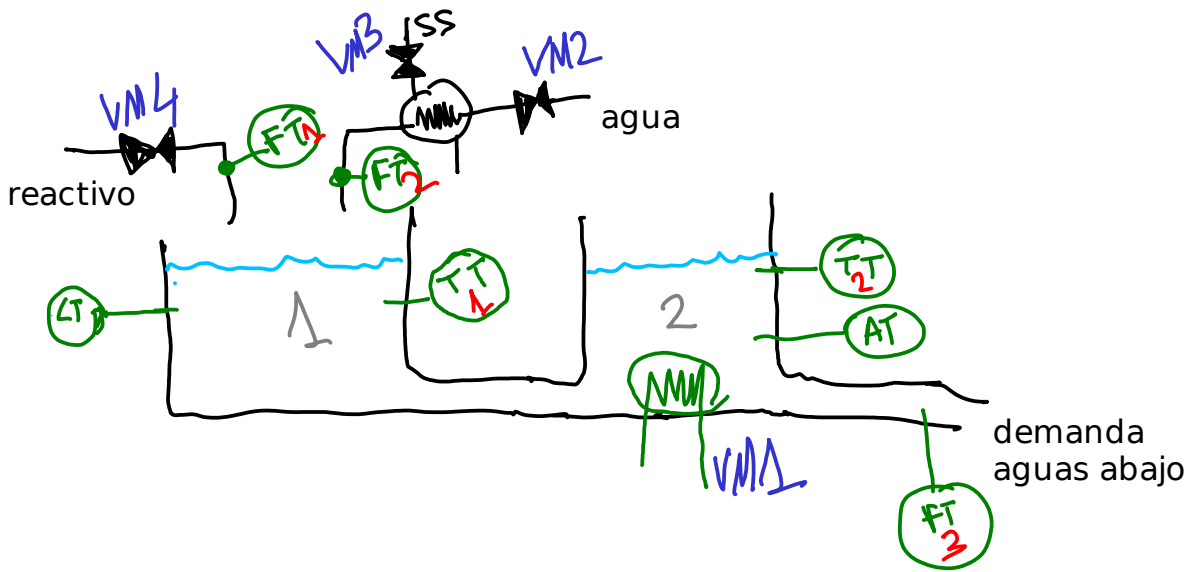


Estructuras de control para proceso 2 tanques

(c) 2024, Antonio Sala Piqueras, todos los derechos reservados.

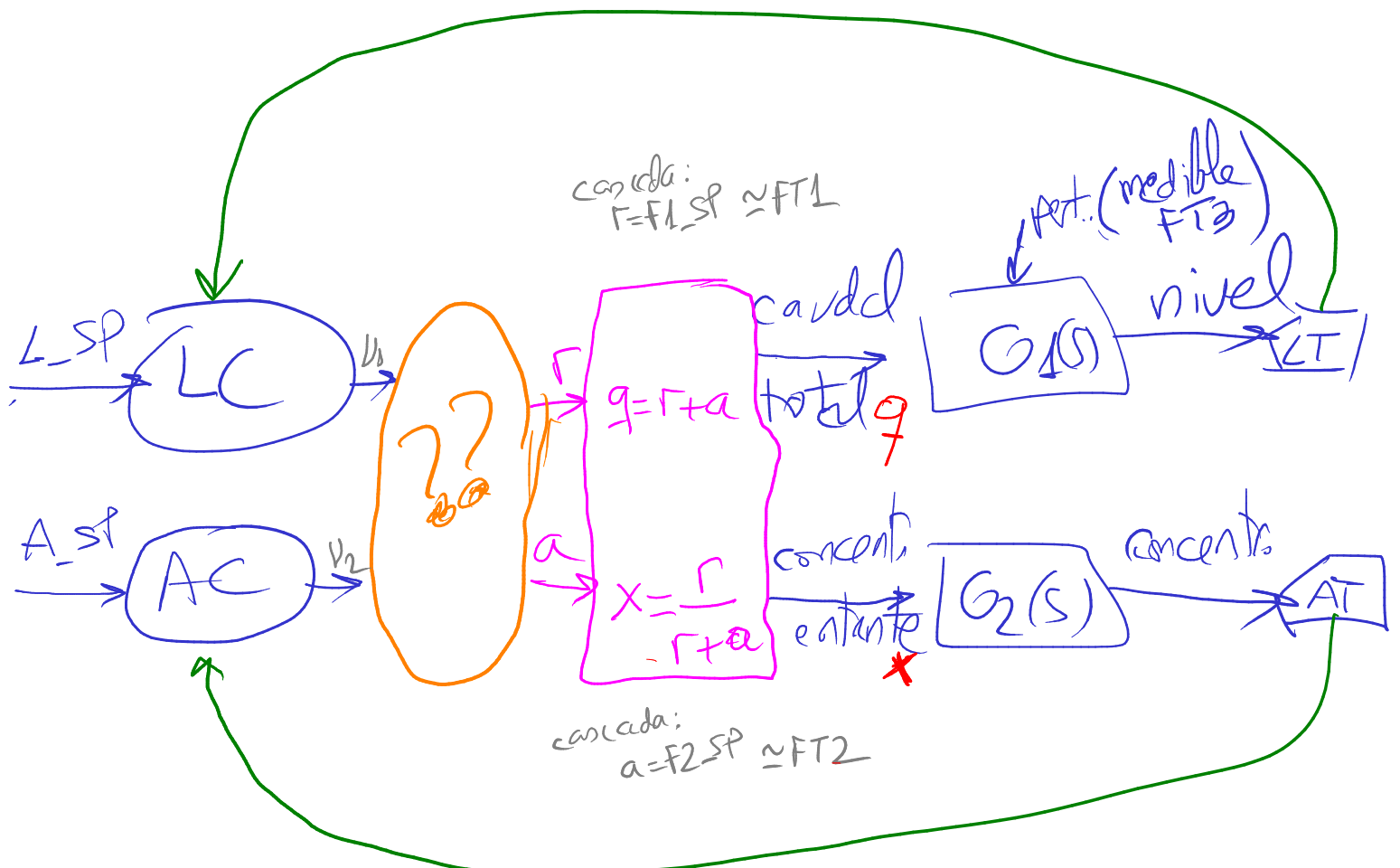
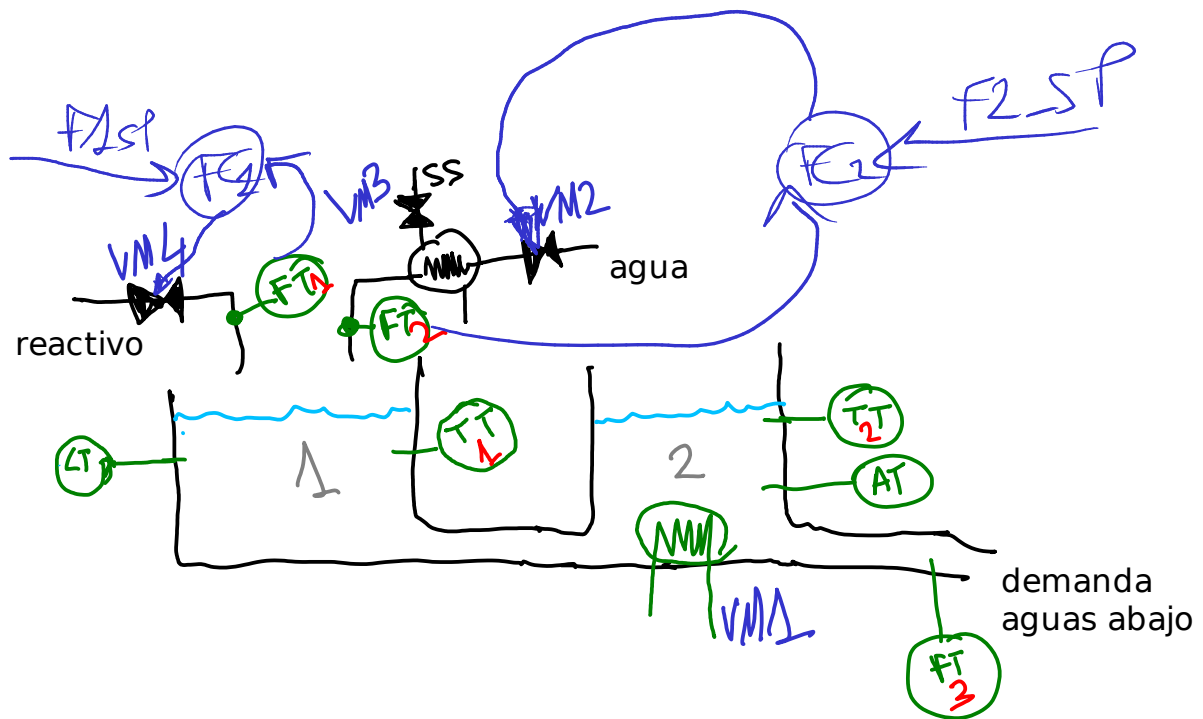


Presentaciones en vídeo:

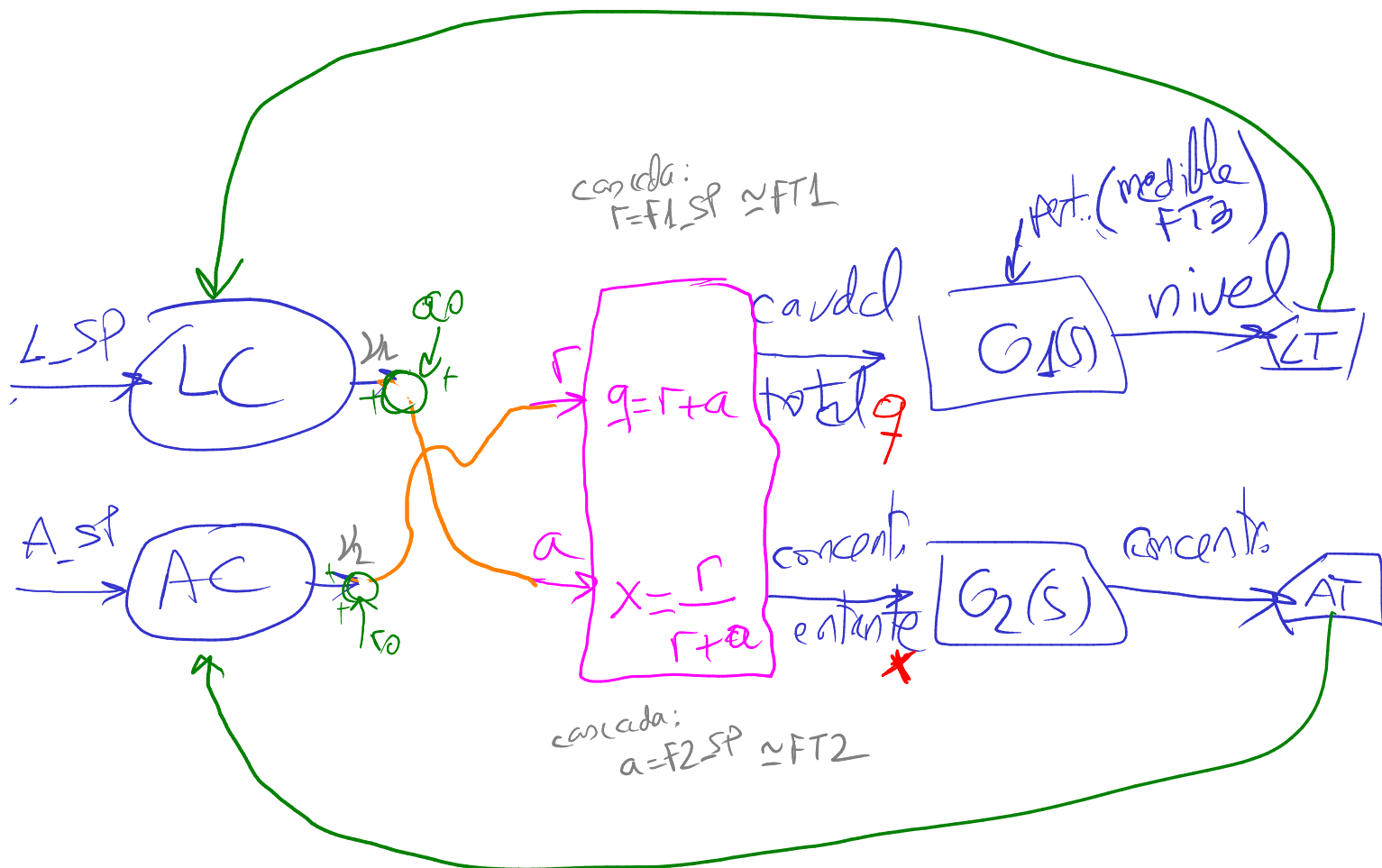
<http://personales.upv.es/asala/YT/V/mzrga.html>

<http://personales.upv.es/asala/YT/V/mzratdc1.html>

<http://personales.upv.es/asala/YT/V/mzratdc2.html>



MULTILOOP (nominal $a=5$, $r=1$; $q=6$, $x=1/6$):



RATIO control:

$$\sigma = \rho a$$

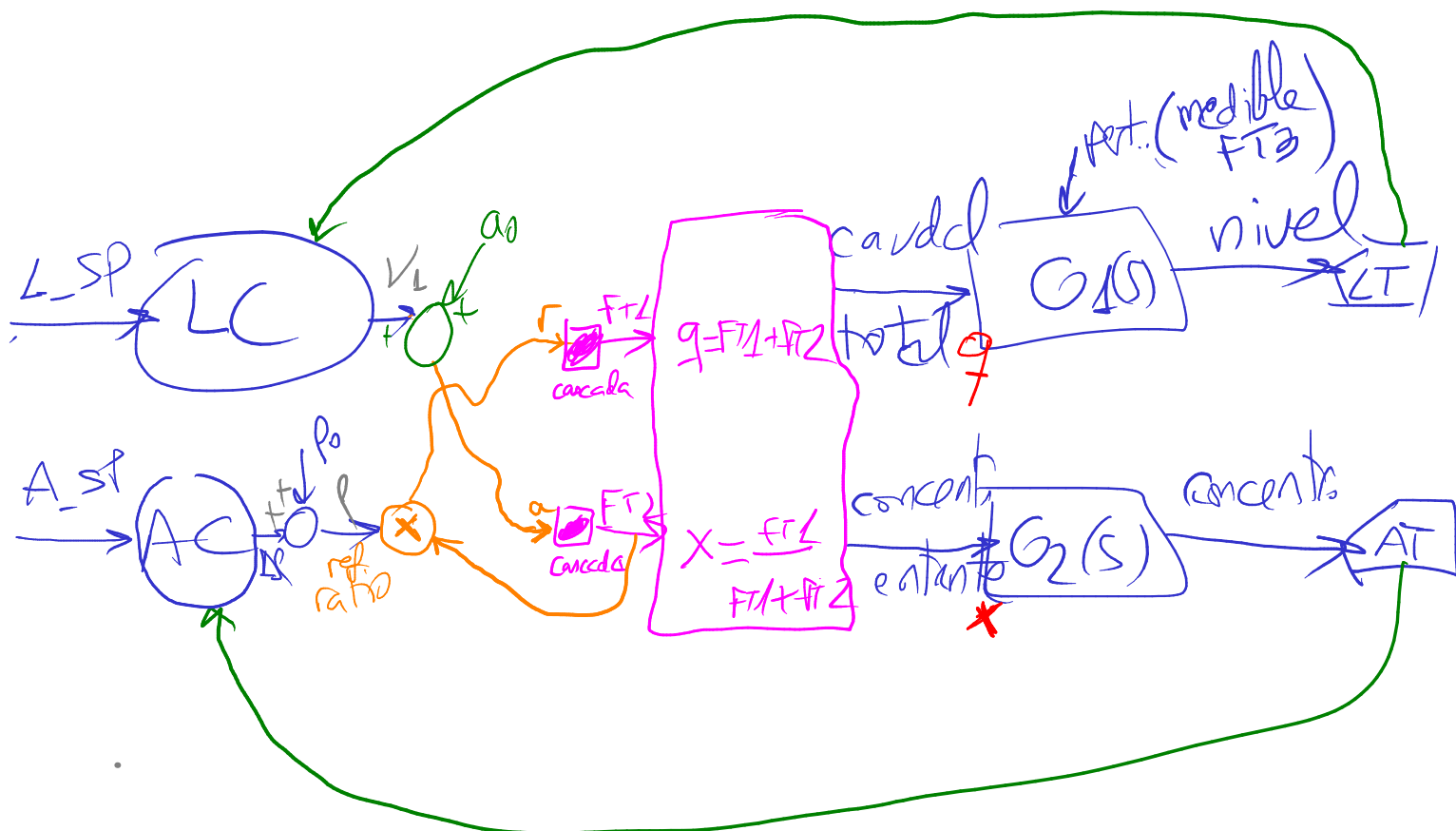
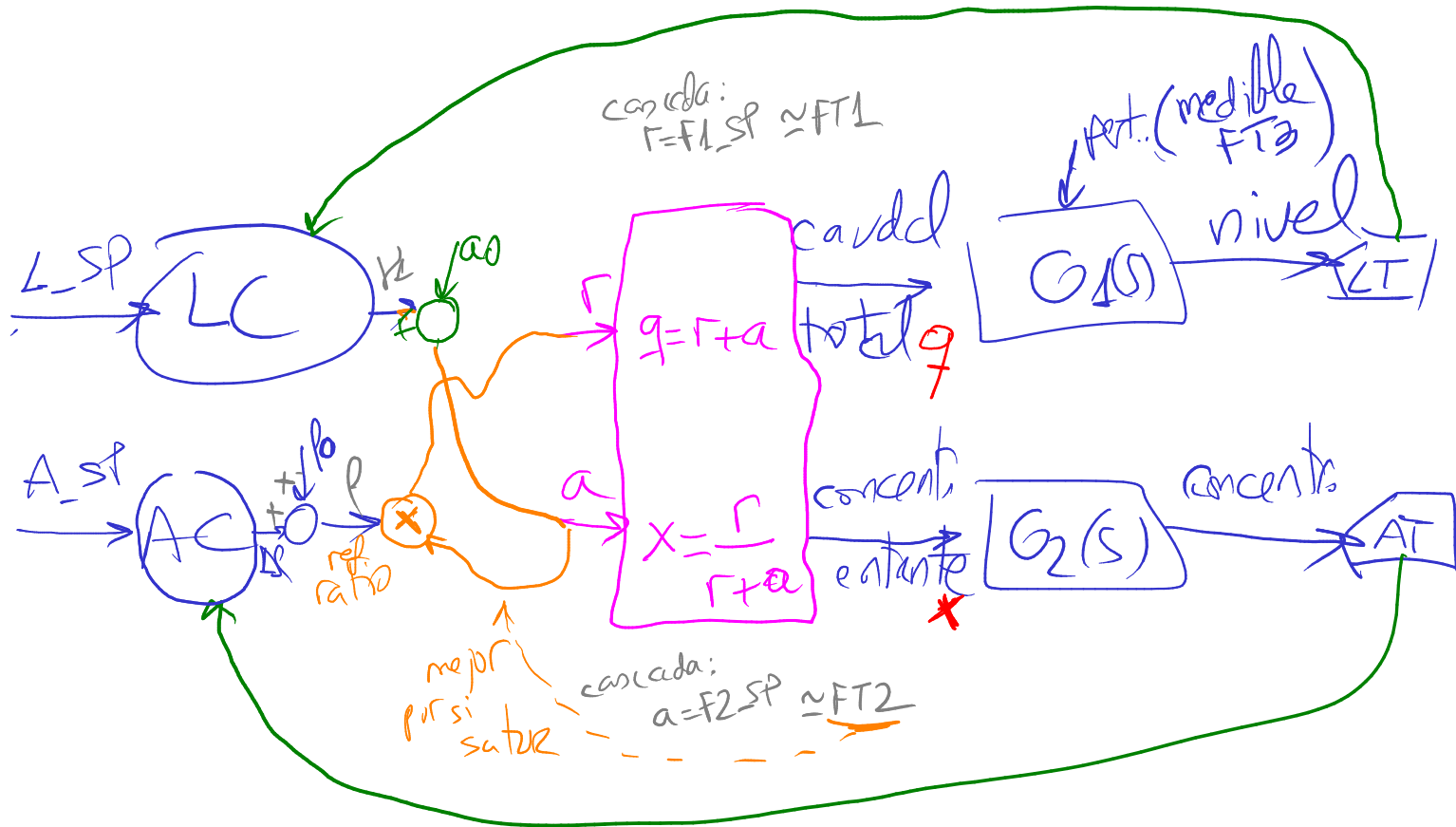
$$a = y_1 + a_0$$

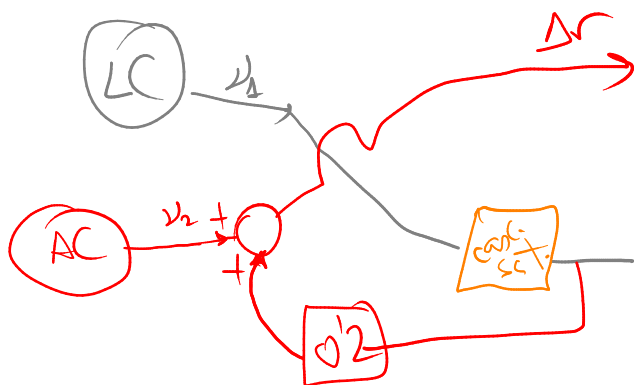
$$r = \rho_0 \Delta a + a_0$$

$$r_0 = \rho_0 a_0$$

$$\Delta r = \rho_0 \Delta a + a_0 \Delta \rho + \Delta a \Delta \rho \rightarrow 0$$

$$\Delta r = \rho_0 \Delta a + \Delta a \Delta \rho$$



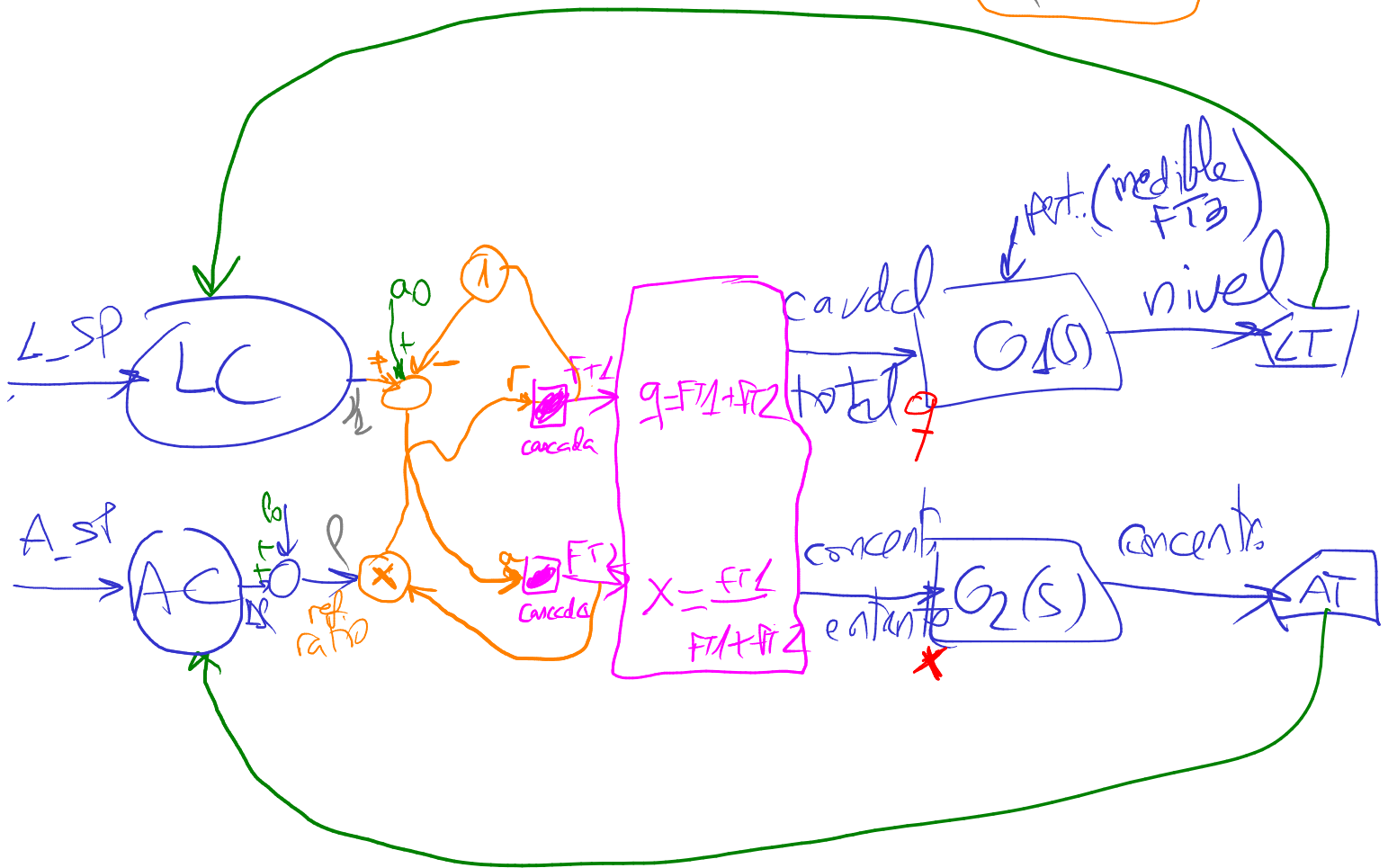


**Interpretación de la linealización
del ratio control como
desacoplamiento nivel->conc.**

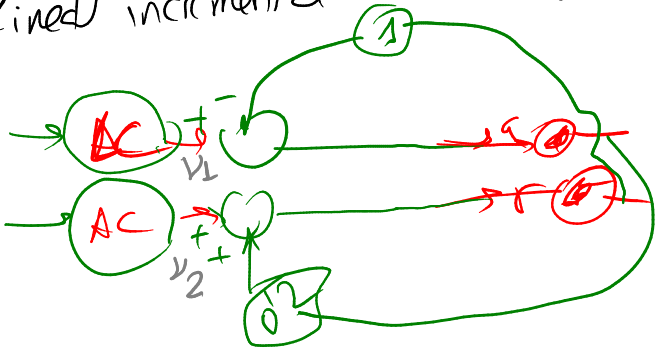
Desac. Forma INVERSA:

no incl:

$$r = \rho a$$
$$a = \frac{1}{1 + \rho}$$
$$x = \frac{\rho}{1 + \rho}$$
$$r = \frac{\rho}{1 + \rho}$$



lined incremental (x/t/book):



$$\begin{pmatrix} \text{rect} \\ \text{core} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 5 & -1/4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \text{rect} \\ \text{gy} \end{pmatrix}$$

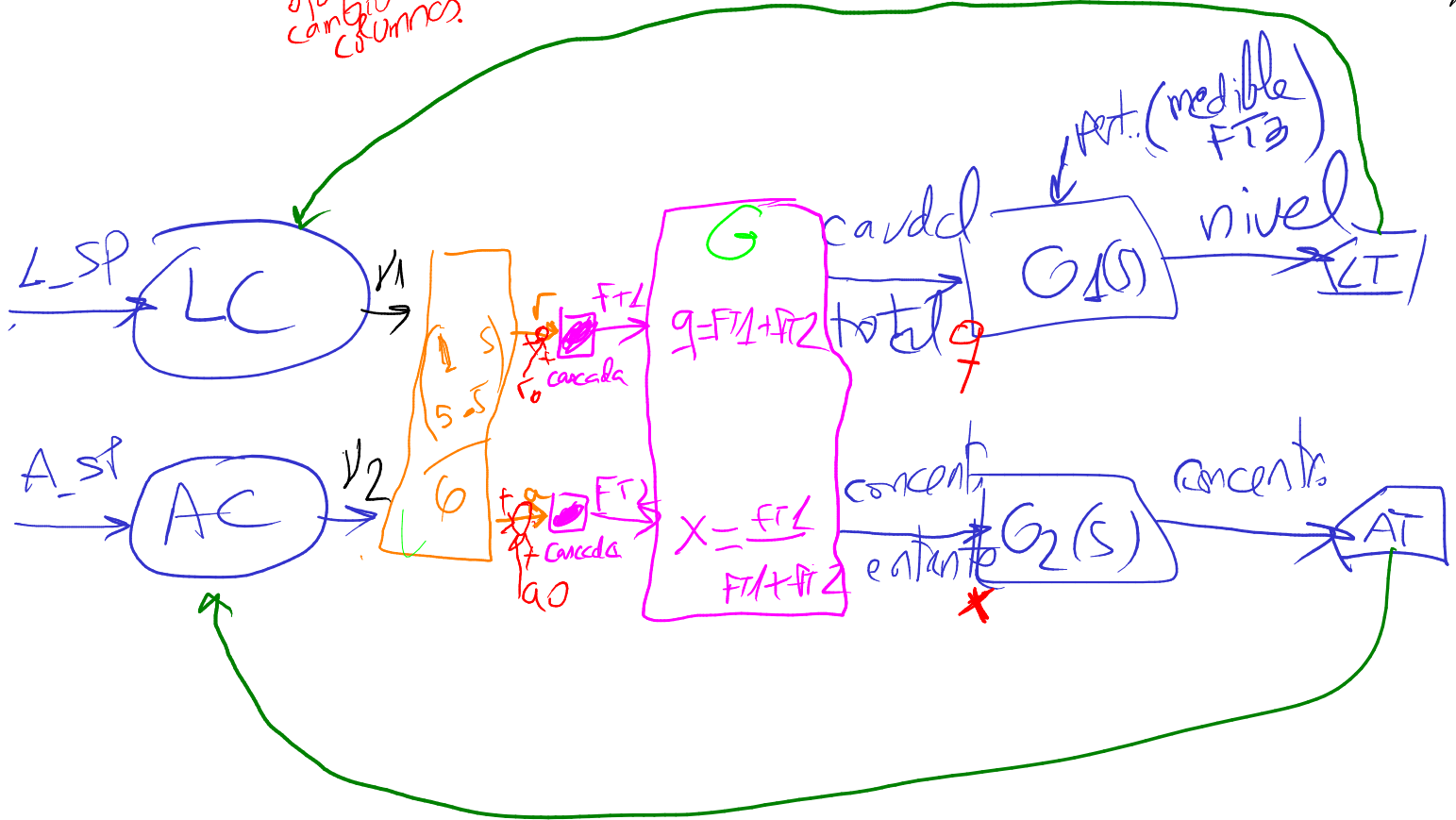
jaja! buche presión debe ser estable.
solo decaplar agua $\rightarrow$ concentrar.
$$r = v_2 + p_0 v_1$$

Desac. Forma DIRECTA:

LINEAL

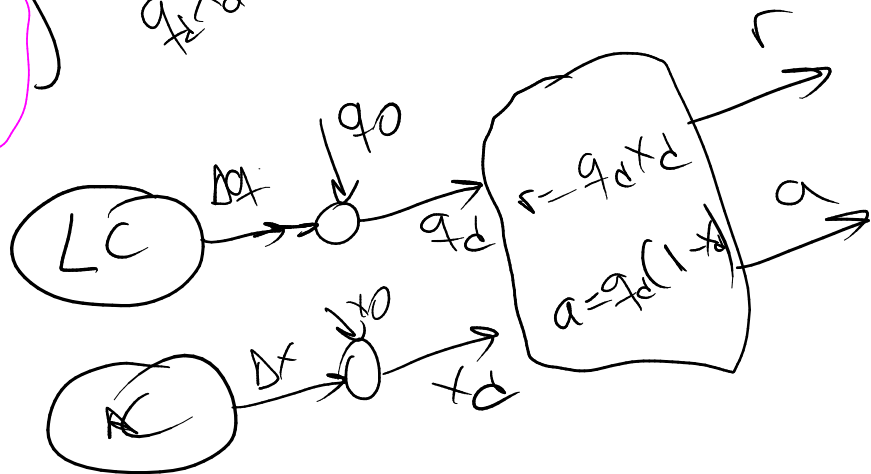
$$\begin{pmatrix} q_d \\ x_d \end{pmatrix} = G \begin{pmatrix} r \\ a \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 5 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} r_2 \\ v_1 \end{pmatrix} \Rightarrow \begin{pmatrix} r \\ a \end{pmatrix} = \frac{1}{6} \begin{pmatrix} 5 & 1 \\ -1 & 5 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v_2 \\ v_1 \end{pmatrix}$$

(a) ojo cambio columnas.



No lineal:

$$\begin{cases} q_d = r + a \\ x_d = \frac{r}{r + a} \end{cases} \rightarrow \begin{cases} a = q_d(1 - x_d) \\ q_d x_d = r \end{cases}$$



* incorrecto bdo,
no definio el $\frac{5}{36}$.

Multilazo, ratio control, desacoplamiento: control de nivel y dilución de reactivo (concentración)

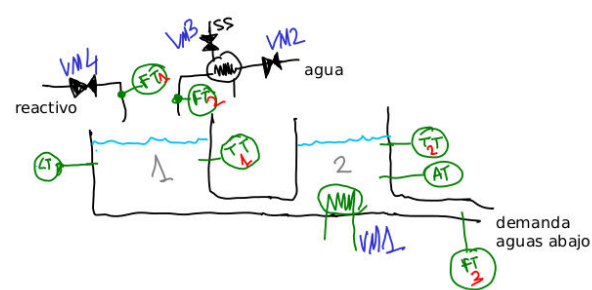
© 2023, Antonio Sala Piqueras, Universitat Politècnica de València. Todos los derechos reservados.

Tabla de Contenidos

Objetivos y motivación.....	1
Modelo no lineal del mezclado.....	2
Linealización.....	2
Control multiloop: emparejamiento RGA.....	3
Desacoplamiento.....	3
Forma Inversa (lineal).....	3
Forma Directa (lineal).....	3

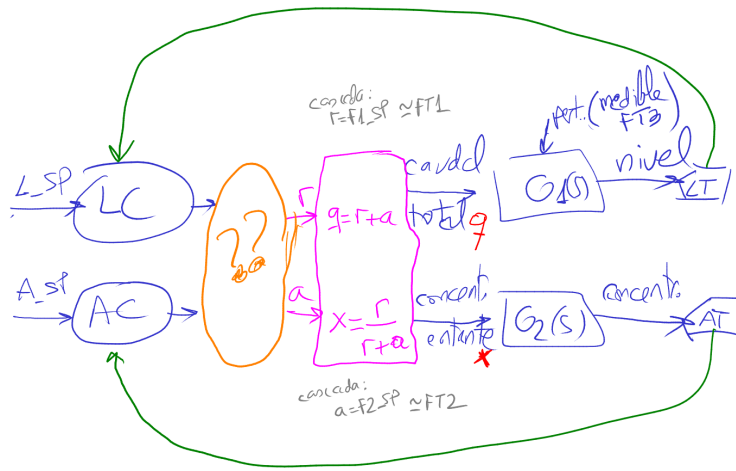
Objetivos y motivación

Sea este proceso de mezclado (calentamiento no considerado), donde nominalmente debemos introducir 1 litro de reactivo por cada 5 de agua para diluirlo:



Multiloop: debemos decidir si controlamos nivel con caudal de agua o con reactivo y, por tanto, controlamos concentración con el otro de los caudales (VM4 o VM2).

Estructuras más sofisticadas: también podríamos pensar en ratio control, desacoplamiento, o similar para mejorar las prestaciones del "multiloop" básico. Nuestro objetivo es analizar todo eso y las relaciones entre unas y otras opciones. En resumen, el objetivo es decidir qué poner en el bloque "???" de abajo:



Modelo no lineal del mezclado

```
syms r a q x real
```

La variable r representa caudal de reactivo; La variable a representa caudal de agua para disolverlo.

```
Modelo=[q==r+a; x==r/(r+a)]
```

Modelo =

$$\begin{pmatrix} q = a + r \\ x = \frac{r}{a + r} \end{pmatrix}$$

La primera ecuación del modelo describe el caudal total (que influirá sobre caudales/niveles aguas abajo); La segunda fila es la concentración de reactivo resultante de la mezcla.

Linealización

```
J=simplify(jacobian(rhs(Modelo),[r,a])); %matriz de derivadas parciales
```

- Si queremos todo "en letra", descomentamos esto:

```
%syms r_0 a_0 real %Punto funcionamiento simbólico
```

- Si queremos ejemplo numérico con punto de funcionamiento $q_0 = 6$, $x_0 = 1/6$, las entradas serán 5 litros de agua y 1 de reactivo:

```
r_0=1;a_0=5; %Ejemplo numérico concreto
```

Hagamos los cálculos

```
G=subs(J,{r,a},{r_0,a_0}) %Modelo linealizado
```

G =

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 \\ \frac{5}{36} & -\frac{1}{36} \end{pmatrix}$$

Las salidas de G son [**incrementos de caudal total; incremento de concentración**]. Las entradas a G son [**incremento caudal reactivo; incremento caudal agua**].

Control multiloop: emparejamiento RGA

```
rga = simplify(G.*inv(G')) %Relative gain array
```

rga =

$$\begin{pmatrix} \frac{1}{6} & \frac{5}{6} \\ \frac{5}{6} & \frac{1}{6} \end{pmatrix}$$

El emparejamiento recomendado es:

- "incr. caudal $\leftarrow$ agua" e "incr. concentración in $\leftarrow$ reactivo" si $a_0 > r_0$;
- "incr. caudal $\leftarrow$ reactivo" e "incr. concentración in $\leftarrow$ agua" si $a_0 < r_0$;

O sea, concentración con el "caudal pequeño nominal" y "caudal total" con "caudal grande nominal".

```
MultiloopPairing=[2;1];
```

Desacoplamiento

Forma Inversa (lineal)

Si suponemos $a > r$ en punto nominal, el desac. forma inversa:

$$D1 = -G(1,1) / G(1,2)$$

$$D1 = -1$$

$$D2 = \text{simplify}(-G(2,2) / G(2,1))$$

$$D2 =$$

$$\frac{1}{5}$$

Forma Directa (lineal)

Insertamos una matriz de modo que entradas virtuales "incrementar q " e "incrementar x " se trasladen a caudales de reactivo y agua... La inversión directa será:

$$\text{Desac1} = \text{inv}(G)$$

$$\text{Desac1} =$$

$$\begin{pmatrix} \frac{1}{6} & 6 \\ \frac{5}{6} & -6 \end{pmatrix}$$

Las entradas a este desacoplador serían "*caudal total deseado*" e "*incremento de concent. de mezcla deseado*". Las salidas, caudal de reactivo y caudal de agua.

```
G*Desac1
```

```
ans =
```

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Si, simplemente, buscamos insertar una matriz de modo que la matriz aparente sea el fragmento "elegido" de G (para mejorar un regulador basado en RGA preexistente, sin rediseñar), tendríamos:

```
Desac2=simplify(inv(G)*[0 G(1,2);G(2,1) 0])
```

```
Desac2 =
```

$$\begin{pmatrix} \frac{5}{6} & \frac{1}{6} \\ -\frac{5}{6} & \frac{5}{6} \end{pmatrix}$$

Las entradas a $Desac2$ serían "acción de regulador de concentración multiloop" y "acción de regulador de nivel multiloop"; las salidas serían "caudal de reactivo" y "caudal de agua".

```
G*Desac2
```

```
ans =
```

$$\begin{pmatrix} 0 & 1 \\ \frac{5}{36} & 0 \end{pmatrix}$$

El desacoplador directo equivalente al diagrama de bloques del desacoplamiento en forma inversa es:

```
Desac3=inv([1 -D2;-D1 1]) %coincide con Desac2
```

```
Desac3 =
```

$$\begin{pmatrix} \frac{5}{6} & \frac{1}{6} \\ -\frac{5}{6} & \frac{5}{6} \end{pmatrix}$$

Multilazo, ratio control, desacoplamiento: control de nivel y dilución de reactivo (concentración)

PERMUTADO respecto vídeo, para que emparejamiento elegido esté en diagonal

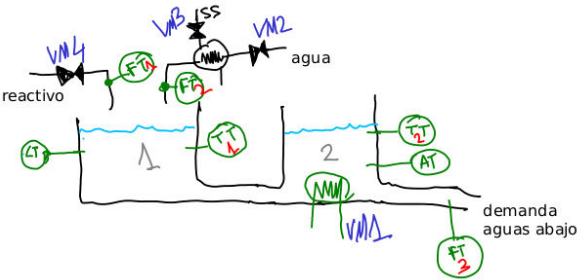
© 2023, Antonio Sala Piqueras, Universitat Politècnica de València. Todos los derechos reservados.

Tabla de Contenidos

Objetivos y motivación.....	1
Modelo no lineal del mezclado.....	2
Linealización.....	2
Control multiloop: emparejamiento RGA.....	3
Desacoplamiento.....	3
Forma Inversa (lineal).....	3
Forma Directa (lineal).....	3

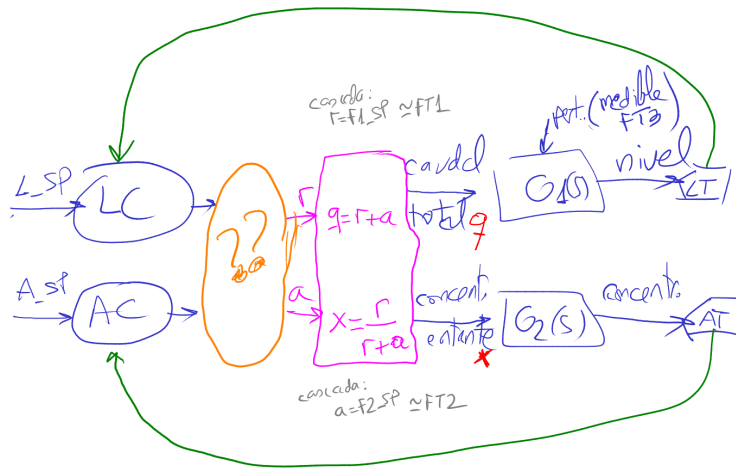
Objetivos y motivación

Sea este proceso de mezclado (calentamiento no considerado), donde nominalmente debemos introducir 1 litro de reactivo por cada 5 de agua para diluirlo:



Multiloop: debemos decidir si controlamos nivel con caudal de agua o con reactivo y, por tanto, controlamos concentración con el otro de los caudales (VM4 o VM2).

Estructuras más sofisticadas: también podríamos pensar en ratio control, desacoplamiento, o similar para mejorar las prestaciones del "multiloop" básico. Nuestro objetivo es analizar todo eso y las relaciones entre unas y otras opciones. En resumen, el objetivo es decidir qué poner en el bloque "??" de abajo:



Modelo no lineal del mezclado

```
syms r a q x real
```

La variable r representa caudal de reactivo; La variable a representa caudal de agua para disolverlo.

```
Modelo=[q==r+a; x==r/(r+a)]
```

Modelo =

$$\begin{pmatrix} q = a + r \\ x = \frac{r}{a + r} \end{pmatrix}$$

La primera ecuación del modelo describe el caudal total (que influirá sobre caudales/niveles aguas abajo); La segunda fila es la concentración de reactivo resultante de la mezcla.

Linealización

```
J=simplify(jacobian(rhs(Modelo),[a,r])); %matriz de derivadas parciales
```

- Si queremos todo "en letra", descomentamos esto:

```
%syms r_0 a_0 real %Punto funcionamiento simbólico
```

- Si queremos ejemplo numérico con punto de funcionamiento $q_0 = 6$, $x_0 = 1/6$, las entradas serán 5 litros de agua y 1 de reactivo:

```
r_0=1;a_0=5; %Ejemplo numérico concreto
```

Hagamos los cálculos

```
G=subs(J,{r,a},{r_0,a_0}) %Modelo linealizado
```

G =

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 \\ -\frac{1}{36} & \frac{5}{36} \end{pmatrix}$$

Las salidas de G son [**incrementos de caudal total; incremento de concentración**]. Las entradas a G son [**incremento caudal agua; incremento caudal reactivo**].

Control multiloop: emparejamiento RGA

```
rga = simplify(G.*inv(G')) %Relative gain array
```

rga =

$$\begin{pmatrix} \frac{5}{6} & \frac{1}{6} \\ \frac{1}{6} & \frac{5}{6} \end{pmatrix}$$

El emparejamiento recomendado es:

- "incr. caudal $\leftarrow$ agua" e "incr. concentración in $\leftarrow$ reactivo" si $a_0 > r_0$;
- "incr. caudal $\leftarrow$ reactivo" e "incr. concentración in $\leftarrow$ agua" si $a_0 < r_0$;

O sea, concentración con el "caudal pequeño nominal" y "caudal total" con "caudal grande nominal".

```
MultiloopPairing=[1;2];
```

Desacoplamiento

Forma Inversa (lineal)

Si suponemos $a > r$ en punto nominal, el desac. forma inversa:

$$D1 = -G(1,2) / G(1,1)$$

$$D1 = -1$$

$$D2 = \text{simplify}(-G(2,1) / G(2,2))$$

$$D2 =$$

$$\frac{1}{5}$$

Forma Directa (lineal)

Insertamos una matriz de modo que entradas virtuales "incrementar q " e "incrementar x " se trasladen a caudales de reactivo y agua... La inversión directa será:

$$\text{Desac1} = \text{inv}(G)$$

$$\text{Desac1} =$$

$$\begin{pmatrix} \frac{5}{6} & -6 \\ \frac{1}{6} & 6 \end{pmatrix}$$

Las entradas a este desacoplador serían "*caudal total deseado*" e "*incremento de concent. de mezcla deseado*". Las salidas, caudal de agua y caudal de reactivo.

```
G*Desac1
```

```
ans =
```

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Si, simplemente, buscamos insertar una matriz de modo que la matriz aparente sea el fragmento "elegido" de G (para mejorar un regulador basado en RGA preexistente, sin rediseñar), tendríamos:

```
Desac2=simplify(inv(G)*[G(1,1) 0;0 G(2,2)])
```

```
Desac2 =
```

$$\begin{pmatrix} \frac{5}{6} & -\frac{5}{6} \\ \frac{1}{6} & \frac{5}{6} \end{pmatrix}$$

Las entradas a $Desac2$ serían "acción de regulador de NIVEL multiloop" y "acción de regulador de CONCENTR. multiloop"; las salidas serían "caudal de agua" y "caudal de reactivo". Habría que intercambiar FILAS para que esto estuviera de acuerdo con el D. Bloques del vídeo.

```
G*Desac2
```

```
ans =
```

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & \frac{5}{36} \end{pmatrix}$$

El desacoplador directo equivalente al diagrama de bloques del desacoplamiento en forma inversa es:

```
Desac3=inv([1 -D1;-D2 1]) %coincide con Desac2
```

```
Desac3 =
```

$$\begin{pmatrix} \frac{5}{6} & -\frac{5}{6} \\ \frac{1}{6} & \frac{5}{6} \end{pmatrix}$$