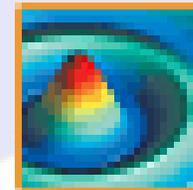
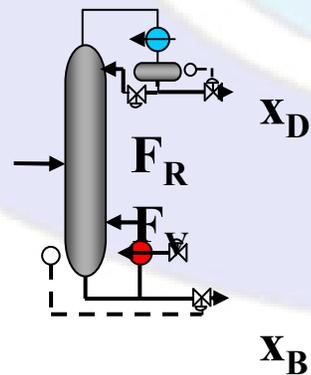


MODELACION Y SIMULACION DE PROCESOS

SIMULACION DINAMICA DE PROCESOS

Prof. FRANCISCO CUBILLOS





SIMULACION DINAMICA DE PROCESOS

OBJETIVO: Simular el comportamiento de un proceso con el tiempo cuando cambian las variables operacionales ya sea producto de:

- cambios dados por el operador
- movimientos originados por un sistema de control
- fallas
- perturbaciones no medidas

CARACTERISTICAS

El proceso debe estar bien caracterizado en la dimension de los equipos, las condiciones operacionales y los limites de estas.

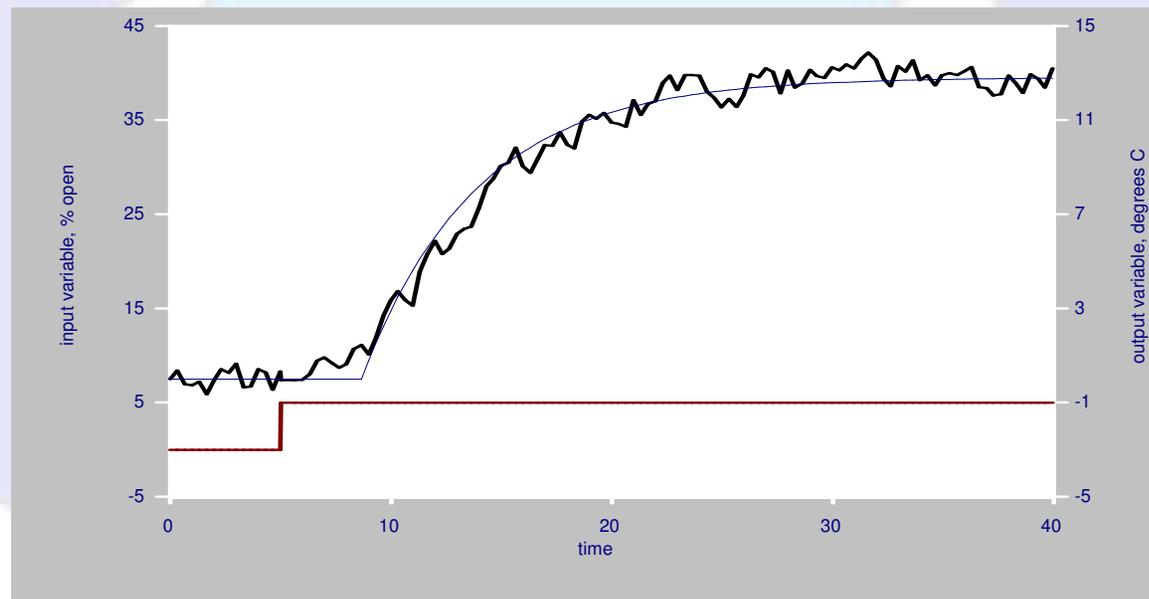
Se debe establecer el horizonte de simulación

Considerar que las variables de interes a analizar van cambiando con el tiempo

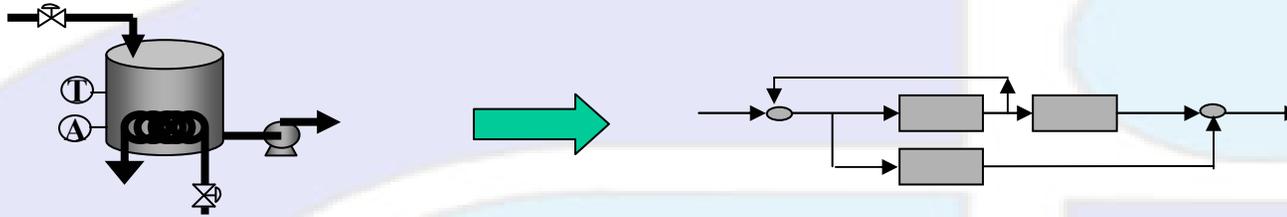
Alternativas de Solución de un Modelo

- Solución Analítica $\Rightarrow Y(t) = g(u,t,p)$ (sistemas simples)

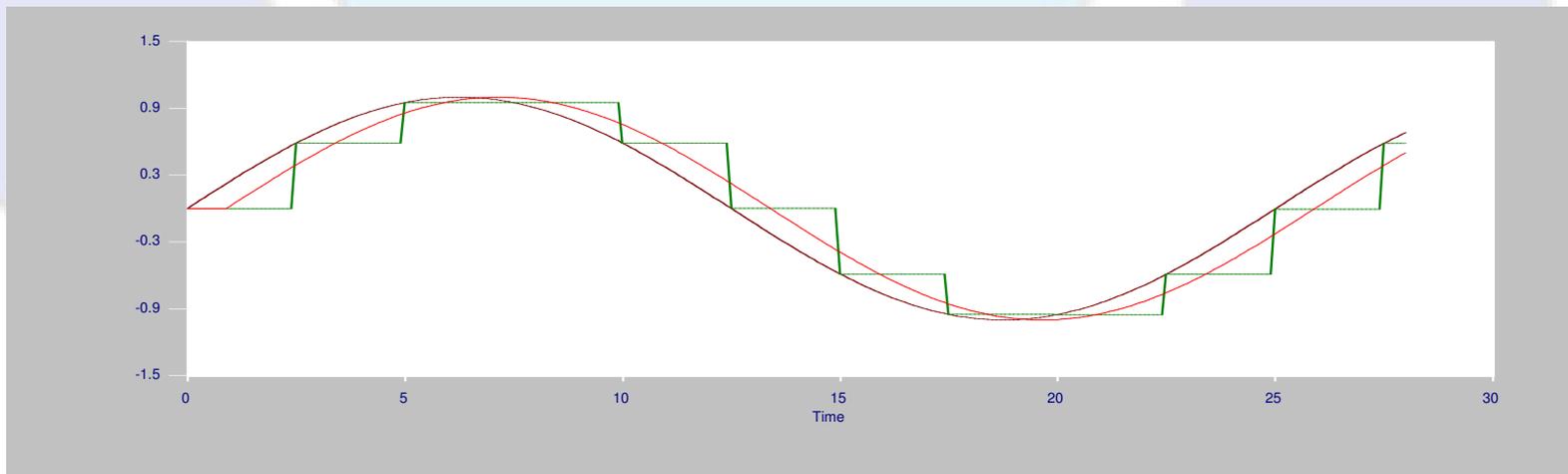
$$C = C_0 * (1 - e^{-\alpha * t})$$



Solución Analógica $\Rightarrow Y(t) = Z(t)$ Z análogo a Y



Solución Numérica $\Rightarrow Y(t+\Delta t) = f(u,p,Y(t))$
aproximación computacional o simulación digital



SIMULACION NUMERICA

Problema a resolver

$$\frac{dx}{dt} = g(u, p, t)$$

$$Y(t) = f(x, u, p, t)$$

$$x(t = 0) = X_0$$

X = Estados del sistema (Variables conservativas)

Y = Salidas observadas (lo que se mide)

X₀ = Estado inicial (Punto de partida)



Los métodos de solución caen en la categoría de métodos de integración numérica, que consisten básicamente en la aproximación de la derivada en un intervalo de tiempo Δt pequeño (paso de integración)

Clasificación de métodos según la aproximación

- Aproximación Explícita:

$$\frac{dX}{dt} \approx \frac{X(t + \Delta t) - X(t)}{\Delta t} = g(x, u, t)_t$$

$$X(t + \Delta t) = X(t) + g(x, u, t)_t * \Delta t$$

Aproximación Implícita

$$\frac{dX}{dt} \approx \frac{X(t + \Delta t) - X(t)}{\Delta t} = g(x, u, t)_{t+\Delta t}$$

$$X(t + \Delta t) - X(t) - g(x, u, t)_{t+\Delta t} * \Delta t = 0$$

- La AE es de solución directa mientras que la AI requiere solucionar una ecuación algebraica (habitualmente no lineal)
- La AI es más estable y puede usar pasos más grandes que la AE.

Clasificación de acuerdo al paso de integración

- **Algoritmos de paso fijo** $\Delta t = \text{constante}$

El paso de integración se mantiene constante hasta el final de la simulación

$$\# \text{Iteraciones} = (T_{\text{fin}} / \Delta t)$$

- **Algoritmos de paso variable:**

El paso de integración cambia de acuerdo a la pendiente de la variable de salida. El paso aumenta a medida que la pendiente disminuye

$$\Delta t \text{ variable } [\Delta t_{\text{min}}, \Delta t_{\text{max}}]; \Delta t = f(\Delta x / \Delta t)$$

CLASIFICACION SEGÚN EL ORDEN DE LA APROXIMACION

Los métodos numéricos se pueden clasificar de acuerdo al orden utilizado para aproximar una función en base a serie de Taylor. Entonces podemos hablar de :

- **1° orden** (Método de Euler)
- **Orden superior** (ej Métodos de Runge Kutta)

$$y_{i+1} = y_i + \frac{h}{8} (k_1 + 3k_2 + 3k_3 + k_4)$$

$$k_1 = f(t_i, y_i)$$

$$k_2 = f\left(t_i + \frac{1}{3}h, y_i + \frac{1}{3}h k_1\right)$$

$$k_3 = f\left(t_i + \frac{2}{3}h, y_i - \frac{1}{3}h k_1 + h k_2\right)$$

$$k_4 = f(t_i + h, y_i + h k_1 - h k_2 + h k_3)$$

Otros métodos mas sofisticados :

- Métodos corrector –Predictor : Basados en estimaciones de valores en $t+n\Delta t$ y su posterior ajuste. (Adams-Gear)
- Métodos Stiff: Métodos para sistemas de ecuaciones diferenciales donde la variación de las salidas con el tiempo son diferentes entre si.

SIMULADORES DINAMICOS



Los simuladores dinámicos son programas computacionales especializados en la solución de sistemas basados en ecuaciones diferenciales ordinarias. (ISIM, ACSL, DASSL, SIMULINK)

Estructura de un Simulador Dinámico

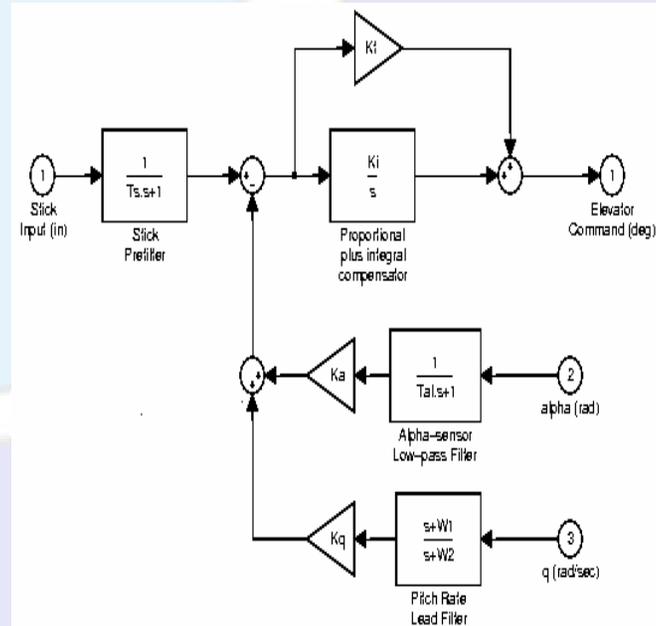
- Modulo de incorporación del modelo
- Interfaz de especificación de parámetros de simulación
(X_0 , t final , algoritmo de integracion, paso, tolerancias, etc)
- Interfaz de salida de resultados (Graficos, archivos, Web)

El modelo se debe incorporar como parte del programa, Subrutina (Código de programa) o modelo de bloques (Simulink)

```

1 function[sys,x0]=secado7(t,x,u,flag)
2 %creado el 27.06.2003
3 %Modelo de Secado(Retromezcla de Sólido.Cuatro Zonas)
4 %Velocidad de secado variable con la Humedad y Temperatura del sólido.
5 %t en minutos;u(1)=T0;u(2)=X0;u(3)=r;u(4)=alfa;u(5)=bet;u(6)=Ua;
6 %x(1)=X1/X0;x(2)=T1;x(3)=X2/X0;x(4)=T2;x(5)=X3/X0;x(6)=T3;x(7)=X4/X0;x(8)=T4;x(9)=Tg;
7 %-----programa-----
8
9 if abs(flag)==1
10
11 %asignaciones
12 T0=u(1);X0=u(2);alfa=u(4);bet=u(5);Ua=u(6);
13
14 %parámetros del modelo
15 Xe=0.026;Ms=.093;R1=0;R2=0;R3=0;
16 Cpg=.24;Cps=.23;L=557;Mg=.0038;
17
18 %Modelo para Simulación
19 Gs=.795*u(3);
20 beta=bet*1200;
21 N1=(alfa*exp(-beta/(x(2)+273)))*(x(1)-(Xe/X0));
22 N2=(alfa*exp(-beta/(x(4)+273)))*(x(3)-(Xe/X0));
23 N3=(alfa*exp(-beta/(x(6)+273)))*(x(5)-(Xe/X0));
24 N4=(alfa*exp(-beta/(x(8)+273)))*(x(7)-(Xe/X0));
25 Q1=Ua*Ms*(x(9)-x(2));
26 Q2=Ua*Ms*(x(9)-x(4));
27 Q3=Ua*Ms*(x(9)-x(6));
28 Q4=Ua*Ms*(x(9)-x(8));

```

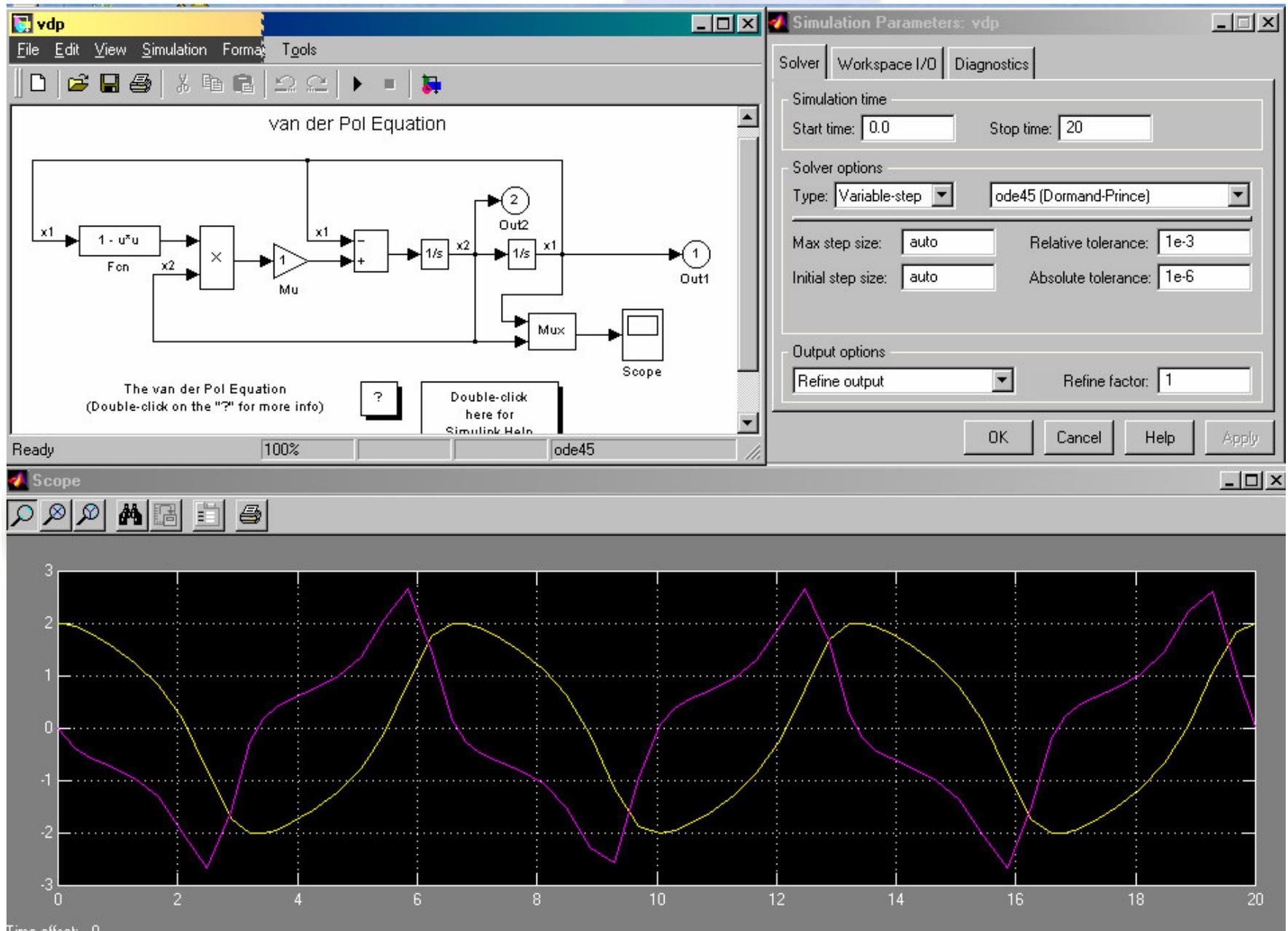


SIMULINK

En Simulink es necesario describir el proceso en base a las ecuaciones diferenciales

Luego el modelo es programado en forma grafica usando sus biblioteca de bloques que representan las operaciones matematicas, entradas, salidas etc.

El usuario puede perfeccionar su modelo a voluntad.



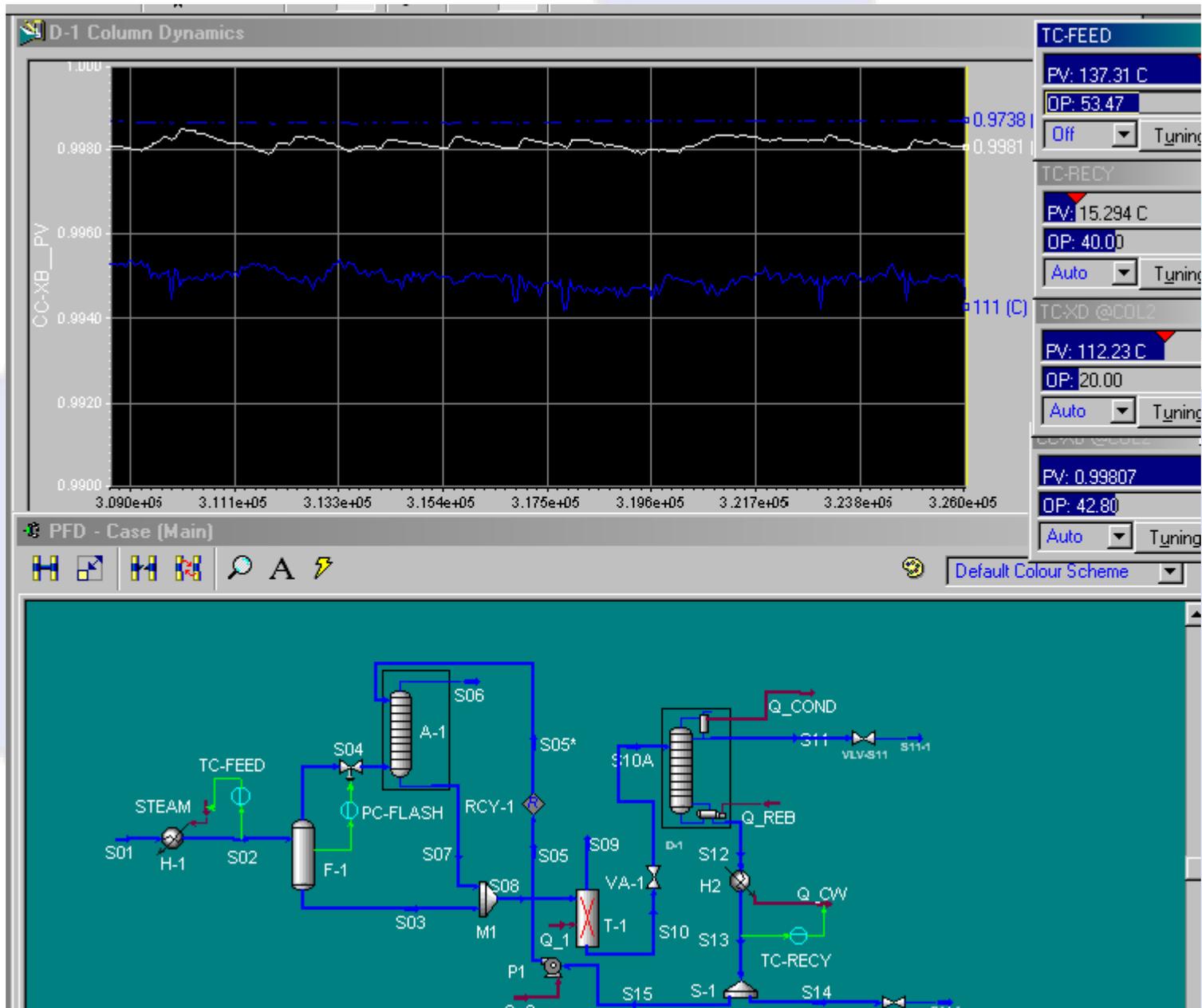
HYSYS

En HYSYS la opción de simulación dinámica esta presente en la mayoría de los equipos

Cada equipo tiene asociado su modelo dinámico y no hay posibilidad de cambiarlo.

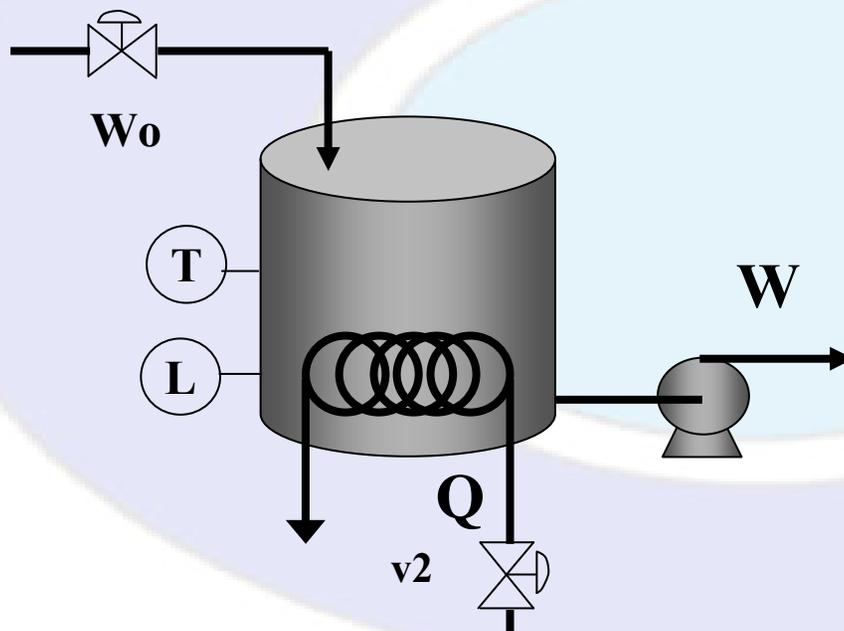
Es necesario desarrollar primero un modelo de estado estacionario para después llevarlo a dinámico usando este modelo estático como condición inicial.

Un asistente ayuda a solucionar los problemas de inicialización



EJEMPLO SIMPLE

Dinámica de inventario y calentamiento de un fluido en un estanque



Datos: Agua

$V=50\text{m}^3$ $A=10\text{m}^2$, $H=5\text{m}$

$W_0= 10 \text{ Kg/min}$

$W=[0-20] \text{ Kg/min}$

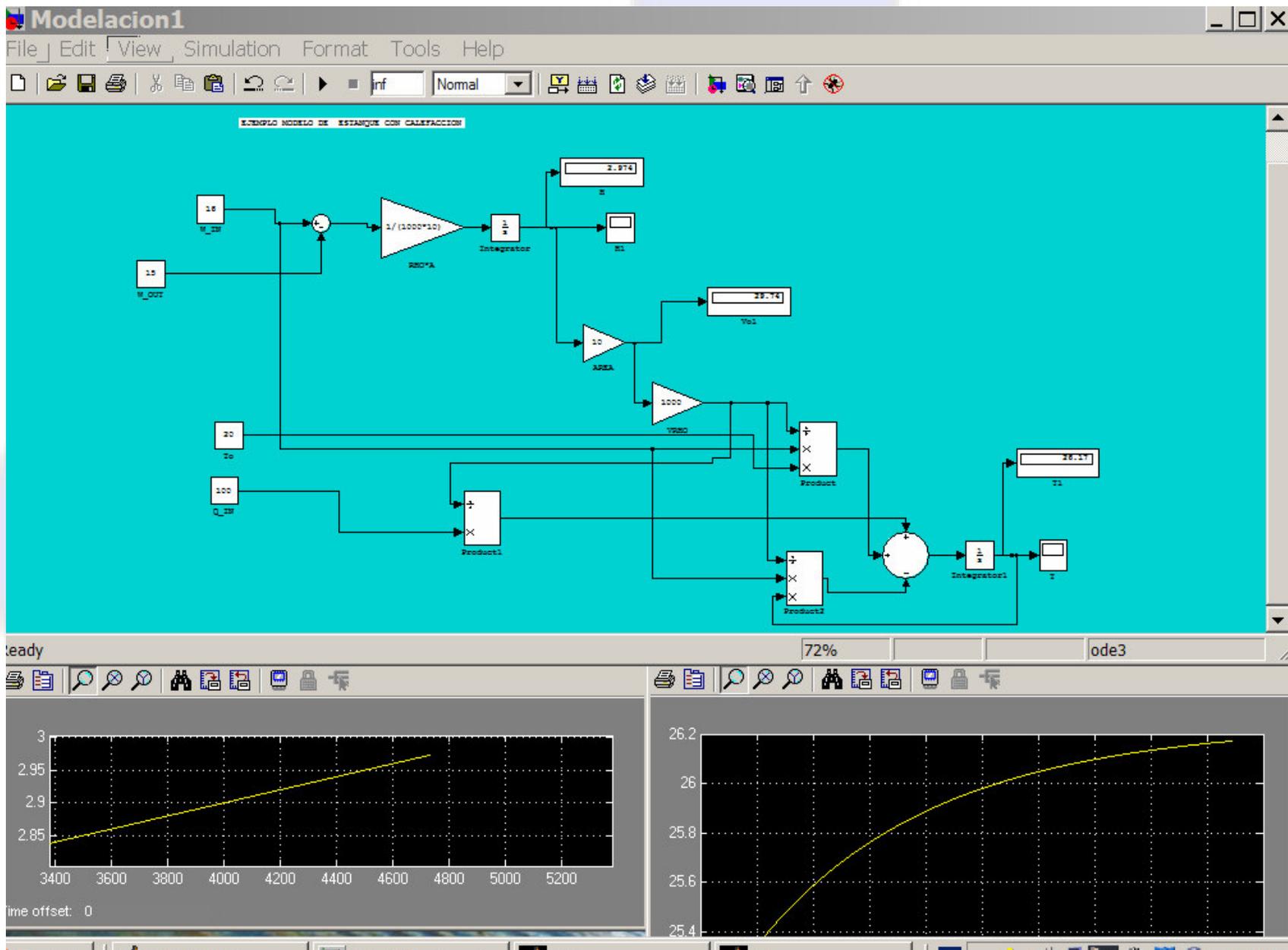
$T_0= 20^\circ\text{C}$

$Q= [0-1000] \text{ Kcal/min}$

SIMULINK

- **Desarrollar el modelo matemático**
- **Fijar condiciones de simulación**
- **Programar el modelo en términos de bloques**
- **Fijar parámetros de simulación**
- **Correr simulación**

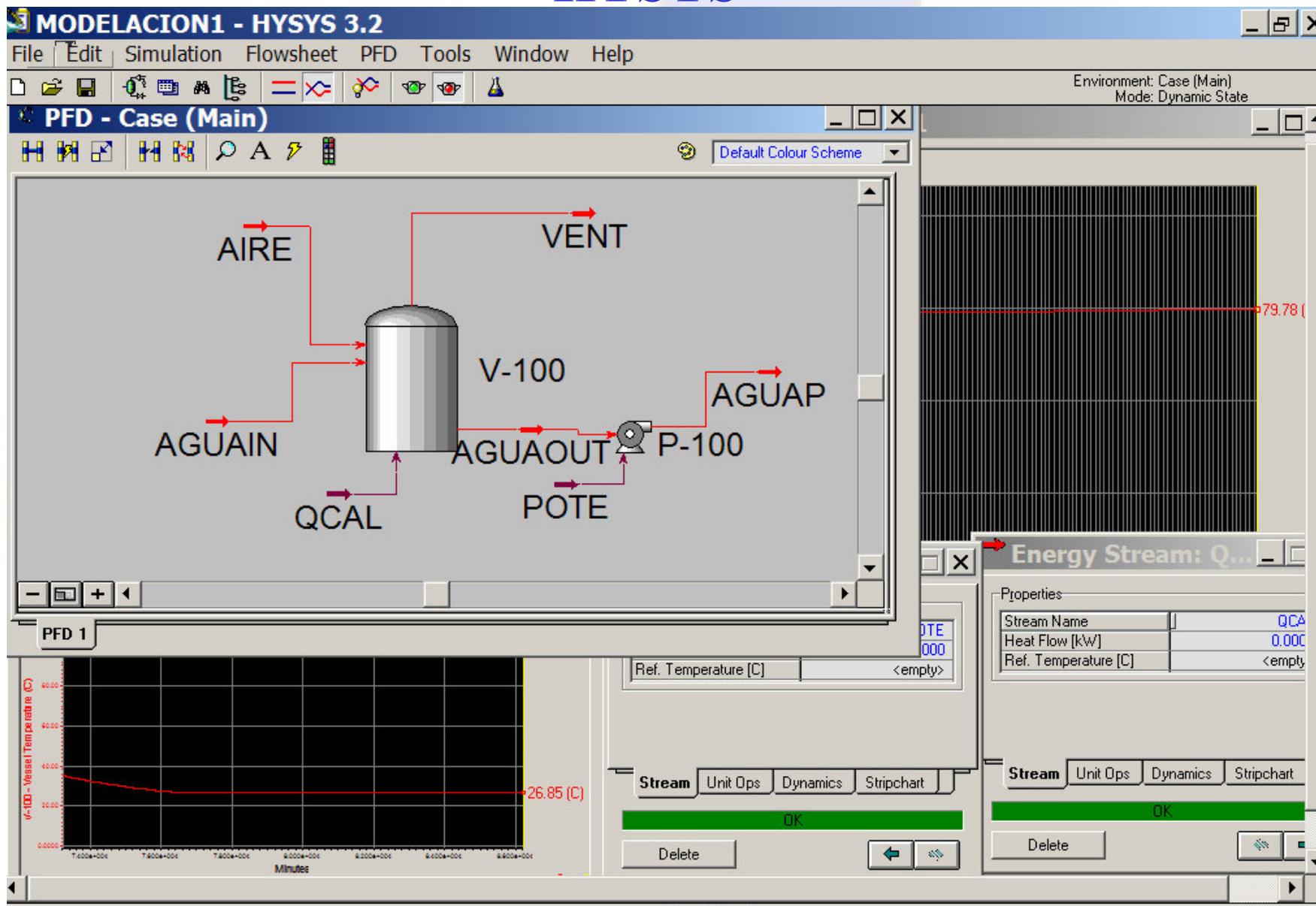
Desarrollo del ejemplo en clases



HYSYS

- **Fijar condiciones de simulación**
- **Desarrollar modelo de estado estacionario**
- **Pasar a modo dinámico**
- **Fijar características del integrador**
- **Correr simulador**

HYSYS



Modelación y Simulación de Procesos – Simulación Dinamica

Francisco Cubillos