

4.º CONGRESO INFORMATICA Y AUTOMATICA

MADRID -16/19 OCTUBRE 1979

SESION

3

MODELO INTERACTIVO HIBRIDO DE LA DINAMICA DE UNA TORRE DE DESTILACION

por

Roberto Juan Ariño, Rubén O. Fernández

Instituto de Cibernética U.P. Barna.

RESUMEN

Se presenta un modelo interactivo híbrido en tiempo real para el estudio de los transitorios de concentración y de temperatura de una torre de destilación en producción continua en respuesta a perturbaciones introducidas en un régimen permanente previamente alcanzado.

En una publicación anterior (1) se proponía un modelo en el que los caudales de líquido y vapor se suponían constantes a lo largo de toda la columna y durante toda la evolución. En el presente trabajo, dichos caudales evolucionan hasta su valor final desde los valores iniciales calculados mediante los balances másicos globales supuesta la torre en régimen permanente.

Se define el sistema físico, se establecen el modelo matemático, el reparto de cálculos analógicos y digitales. Finalmente se efectúa la simulación y análisis de la mezcla pentano-hexano y se comparan los resultados con los del modelo anterior.

1. INTRODUCCION

2

La industria química necesita mejorar el conocimiento del comportamiento dinámico real de las instalaciones utilizadas a causa del hecho de que las actuales exigencias de economía energética y de materias primas implican un ajuste óptimo de las condiciones de funcionamiento.

Por otra parte, para conseguir una operación óptima, las variables: posición del plato de alimentación, número de platos, razón de reflujo, calderín, diseño de platos y otras características deben ser adecuadamente ajustadas.

Las instalaciones de destilación presentan comportamientos dinámicos fuertemente no lineales lo que hace que su puesta en marcha y control sean complejos.

Por todo lo dicho se hace necesario disponer de métodos de simulación que permitan el estudio del proceso en tiempo real. El cálculo híbrido es una herramienta excepcional para abordar estos problemas.

La notación utilizada es la usual en la bibliografía de Ingeniería Química. En (1) puede encontrarse una lista de los símbolos empleados.

2. DEFINICION DEL SISTEMA

Como primer paso hacia cualquier simulación, el sistema físico debe quedar perfectamente definido. En el caso de la destilación, ésta definición toma como elemento base el plato típico de la columna. La figura 1 es un esquema representativo de la columna de destilación de mezclas multicomponentes en producción continua simulada.

La representación esquemática del plato general simulado es la dada en la figura 2.

3. MODELO MATEMATICO

Bajo las hipótesis:

- El hold-up de vapor es despreciable
- Operación adiabática
- Mezcla perfecta entre fases en el plato
- Hold-up de líquido constante en cada zona de columna
- Retardos despreciables en la dinámica de fluidos
- Presión constante en el espacio y tiempo
- Eficacia separadora de plato unitaria
- Alimentación a temperatura de ebullición
- Condensador total en cabezas con reflujo a temperatura de ebullición
- Ausencia de reacciones químicas
- Caudales variables a lo largo de la columna

el modelo matemático del plato general simulado puede definirse mediante las expresiones siguientes,

$$Hd_j \frac{dx_{i,j}}{dt} = L_{j-1} x_{i,j-1} + V_{j+1} y_{i,j+1} - L_j x_{i,j} - V_j y_{i,j} + \text{Gain}_x \text{Ex}_j x_{i,j} \quad \text{ec. 1}$$

$$\text{Ex}_j = 1 - \sum_{i=1}^{NCCOMP} x_{i,j} \quad \text{ec. 2}$$

$$y_{i,j} = K_{i,j} x_{i,j} \quad \text{ec. 3}$$

$$\log K_{i,j} = A_i + B_i / (C_i + T_j) \quad \text{ec. 4}$$

$$Hliq_{i,j} = Hliq_{i,Tmin} + S_p(T_i - T_{min}) \quad \text{ec. 5}$$

$$Hvap_{i,j} = Hvap_{i,Tmin} + \int_{T_{min}}^{T_j} C_p(T_i - T_{min}) dT \quad \text{ec. 6}$$

$$C_p = \alpha_i + \beta_i T_i + \gamma_i T_i^2 \quad \text{ec. 7}$$

$$Hliq_j = \sum_{i=1}^{NCCOMP} Hliq_{i,j} x_{i,j} \quad \text{ec. 8}$$

$$Hvap_j = \sum_{i=1}^{NCCOMP} Hvap_{i,j} x_{i,j} \quad \text{ec. 9}$$

$$V_j = \int_0^{\infty} \left(\sum_{i=1}^{NCCOMP} y_{i,j} - 1 \right) dt \quad \text{ec. 10}$$

$$L_j = V_{j+1} + L_{j-1} - V_j \quad \text{ec. 11}$$

$$T_j = \int_0^{\infty} (V_{j+1} Hvap_{j+1} + L_{j-1} Hliq_{j-1} - V_j Hvap_j - L_j Hliq_j) dt \quad \text{ec. 12}$$

$$R = L / D \quad \text{ec. 13}$$

Las expresiones 1 a 7 deben repetirse para cada componente de la mezcla. Las ecuaciones 8 a 12 corresponden al llamado "cálculo flash" común para todos los componentes.

Si introducimos la hipótesis de que para intervalos de tiempo suficientemente pequeños, los valores de las concentraciones en el vapor y los caudales se mantienen constantes, la expresión del balance de componentes 1, puede integrarse para un intervalo de tiempo Δt según la variable $x_{i,j}$, resultando,

$$x_i^{t+\Delta t} = \frac{a}{b} (1 - \exp(-b \Delta t)) + x_{i,j}^t \exp(-b \Delta t) \quad \text{ec. 14}$$

donde es,

$$a = (V_{j+1}^t y_{i,j+1}^t + L_{j-1}^t x_{i,j-1}^t - V_j^t y_{i,j}^t) / Hd_j \quad \text{ec. 15}$$

$$b = (L_j^t - \text{Gainx Ex}_j) / Hd_j \quad \text{ec. 16}$$

4. RESOLUCION HIBRIDA

Al estar una columna de destilación compuesta por platos, - una posible estructura del modelo puede basarse en la múltiple xión de un plato general adecuadamente configurado para modelar los diferente tipos de platos singulares.

En la distribución de tareas entre el calculador digital y el calculador analógico, el primero se dedica principalmente a los cálculos aritméticos y control lógico así como a entrada salida mientras que en el segundo se efectúan esencialmente - los cálculos no lineales ligados a la determinación de fracciones en el vapor (1).

La figura 3 representa el circuito analógico del "cálculo - flash" y la figura 4 representa el circuito analógico de componente. La figura 5 es un diagrama de flujo ilustrativo del - proceso de cálculo híbrido.

La versión actual del programa se puede aplicar a mezclas de hasta cuatro componentes y columnas de hasta treinta platos, no obstante, la estructura modular del programa permite ampliarlo fácilmente para considerar mezclas de mas componentes lo que - requiere un número mayor de elementos de cálculo analógico y un ligero incremento del área digital de trabajo. Para considerar mas platos solo es necesario ampliar el área de trabajo digital

El programa prevé cinco posibles acciones externas sobre la torre, la respuesta a las cuales es capaz de simular de forma - individual o encadenada. Dichas acciones son,

- Perturbación del reflujo
- Perturbación del caudal de vapor de calefacción
- Perturbación de la relación destilado/alimentación
- Variación de la fracción líquida en la alimentación
- Perturbación del caudal de alimentación

5. SIMULACION Y ANALISIS COMPARATIVO

El modelo expuesto ha sido implementado en el calculador híbrido PACER 100/680 del Instituto de Cibernética de la Universidad Politécnica de Barcelona.

En el Anexo se dan los resultados para el caso de una mezcla de pentano-hexano tratada en una columna de 8 platos reales mas el calderín.

Partiendo siempre de unas condiciones iniciales de la mezcla iguales en todos los platos a las correspondientes a la alimentación de la columna, se ha simulado la evolución hasta un estado estable y la respuesta desde dicho estado a las cinco perturba-

ciones previstas en el modelo.

La figura 6 representa la evolución completa del plato condensador hasta un estado de equilibrio y la posterior respuesta a la perturbación del reflujo.

5.1. Análisis comparativo

El análisis comparativo entre los resultados obtenidos con el modelo aquí propuesto y los del modelo utilizado en (1) permite obtener -ver Anexo - las siguientes conclusiones,

- La velocidad de convergencia hacia un estado estable tanto inicial como en respuesta a la perturbación, ha disminuido ligeramente.
- El error acumulado a lo largo de la columna ha aumentado si bien se comprueba que dicho aumento no es significativo por deberse a pequeñas fluctuaciones en el estado estable alcanzado.
- Los valores de las concentraciones en el líquido calculados digitalmente por extrapolación son análogos.
- Las concentraciones en el vapor calculadas analógicamente son mucho mas próximas a las teóricas.
- La suma de concentraciones en el vapor para cada plato ha disminuido su error sustancialmente.
- La distribución de los caudales de líquido y de vapor a lo largo de la columna son mucho mas acordes con la realidad.
- El rango de variación posible tanto de la ganancia de ponderación del error en las fracciones en líquido como del paso de integración ha aumentado.

6. CONCLUSION

Se ha logrado una mejora global del modelo ya que si bien la velocidad de convergencia hacia un régimen permanente para un paso de discretización en el tiempo dado ha disminuido, el modelo en sí, es mas estable pudiéndose introducir ganancias de ponderación y pasos de discretización mayores.

Finalmente, los resultados ahora obtenidos son intrínsecamente mas precisos y ajustados a un funcionamiento real.

REFERENCIAS

- (1) JUAN ARIÑO, R. "Simulació híbrida de la dinàmica d'una torre de destil.lació" QUESTIIO v.2 n°1 marzo 1978 Barcelona.
- (2) BRIAN MARREN "Dynamic hybrid simulation of a distillation co

lumn" EAI. Scientific Report. Bruselas junio 1973

- (3) HAUSNER, A. "Analog and Analog/Hybrid Computer Programming" Prentice Hall 1971
- (4) BEKEY, G.A. & KARPLUS, W.J. "Hybrid Computatio" Jhon Wiley 1968
- (5) MARR, G.R. "Distillation Column Dynamics: a suggested mathematical model" A.I.Ch.E. National meeting. Baltimore. Maryland mayo 1974
- (6) HYNDMAN, D.E. "Analog and Hybrid Computing" Pergamon Press Oxford 1977.

INFORME COLUMNA

FECHA # 10.07.79

SIMULACION COLUMNA DE DESTILACION / ROBERTO JUAN

VERSION PROGRAMA # 14-07-79

MODELO A CAUDALES FLUCTUANTES, ESTADO ESTABLE ALCANZADO

DATOS COLUMNA #

PLATO	TEMP	CAUDAL LIQ	ENTALP LIQ	CAUDAL VAP	ENTALP VAP	NOMBRE COMP	FRACCION LIQ	FRACCION VAP
CONDENS	41.24	655.27	72.95	757.61	161.72	PENTANO	.73358	.00368
						HEXANO	.26639	.00035
						TOTAL #	.99998	1.00784
1	47.05	671.67	79.17	734.37	163.87	PENTANO	.51114	.76633
						HEXANO	.48763	.24667
						TOTAL #	.99876	1.01399
2	53.36	688.04	79.59	736.33	164.79	PENTANO	.31269	.54689
						HEXANO	.68667	.43533
						TOTAL #	.99937	1.02113
3	59.59	693.36	82.52	746.89	168.16	PENTANO	.18055	.30499
						HEXANO	.80987	.61124
						TOTAL #	.99042	1.00524
4	61.27	713.87	84.18	764.65	168.85	PENTANO	.12946	.26293
						HEXANO	.87069	.71527
						TOTAL #	1.00000	1.00221
ALIMENT	62.02	1514.85	84.06	779.38	169.73	PENTANO	.05903	.22524
						HEXANO	.94097	.77037
						TOTAL #	1.00000	1.00481
6	64.06	1514.18	85.04	787.86	170.51	PENTANO	.06612	.16388
						HEXANO	.93381	.84363
						TOTAL #	.99953	1.00663
7	64.01	1533.28	86.72	779.39	170.61	PENTANO	.04194	.08723
						HEXANO	.95799	.90778
						TOTAL #	.99956	1.00448
CALDETE	63.58	761.72	87.79	783.92	170.21	PENTANO	.02269	.05972
						HEXANO	.97735	.94533
						TOTAL #	.99986	1.00886

INFORME COLUMNA

FECHA # 24/11/77

SIMULACION COLUMNA DESTILACION / ROBERTO JUAN

VERSION PROGRAMA # 24-11-77

MODELO A CAUDALES CONSTANTES ESTADO ESTABLE ALCANZADO

DATOS COLUMNA #

PLATO	TEMP	CAUDAL LIQ	ENTALP LIQ	CAUDAL VAP	ENTALP VAP	NOMBRE COMP	FRACCION LIQ	FRACCION VAP
CONDENS	42.04	700.00	79.21	800.00	169.25	PENTANO	.07297	.06956
						HEXANO	.92631	1.14219
						TOTAL #	1.00037	1.01176
1	40.24	700.00	79.12	800.00	169.38	PENTANO	.43588	.76389
						HEXANO	.56454	.30733
						TOTAL #	1.00064	1.01993
2	55.01	700.00	79.21	800.00	166.41	PENTANO	.29747	.49747
						HEXANO	.70246	.51391
						TOTAL #	.99990	1.01137
3	60.03	700.00	79.31	800.00	168.45	PENTANO	.15648	.34139
						HEXANO	.84307	.66835
						TOTAL #	.99955	1.00864
4	62.06	700.00	79.41	800.00	169.73	PENTANO	.10879	.25188
						HEXANO	.89146	.74834
						TOTAL #	1.00025	1.00121
ALIMENT	63.39	1514.18	79.41	800.00	170.31	PENTANO	.08708	.21663
						HEXANO	.91263	.79188
						TOTAL #	.99993	1.00645
6	64.06	1514.18	79.41	800.00	170.80	PENTANO	.06928	.14664
						HEXANO	.93078	.85688
						TOTAL #	.99999	1.00659
7	64.40	1514.18	79.51	800.00	171.00	PENTANO	.03787	.08060
						HEXANO	.96200	.91934
						TOTAL #	.99996	1.00552
CALDETE	63.88	714.18	79.51	800.00	171.00	PENTANO	.02874	.05469
						HEXANO	.97099	.94599
						TOTAL #	.99999	1.00552

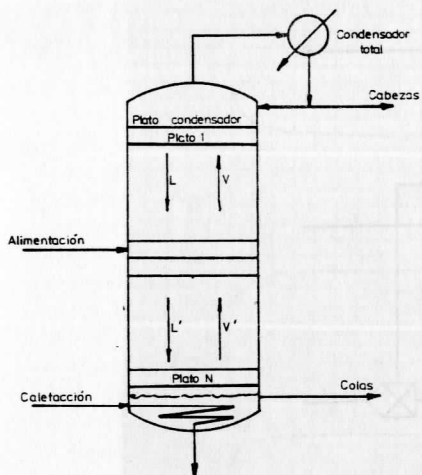


Figura 1. Representación esquemática de una torre de destilación en producción continua con una alimentación y extracciones en cabezas y colas.

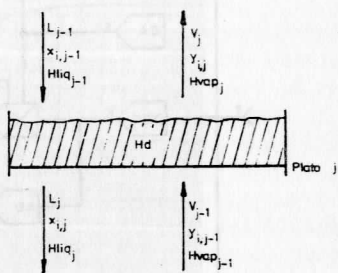


Figura 2. Esquema de plato general.

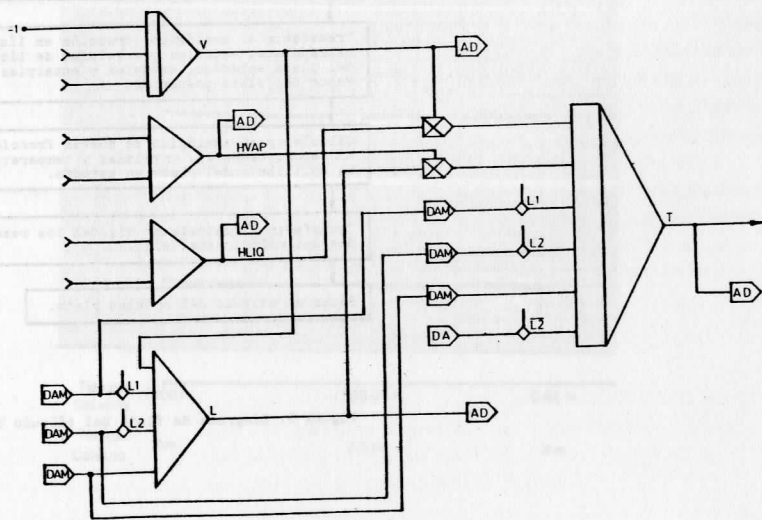


Figura 3. Integración general. Cálculo flash

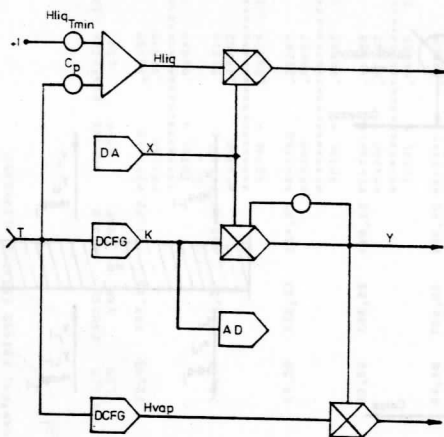


Figura 4. Circuito de componente.

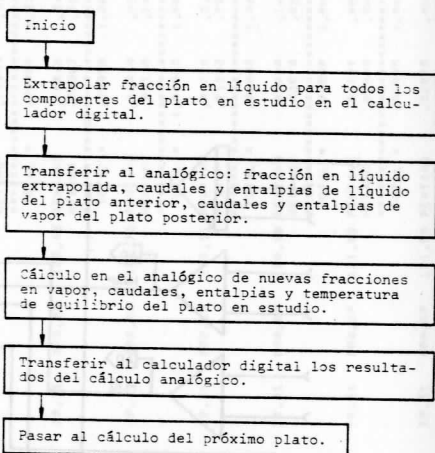
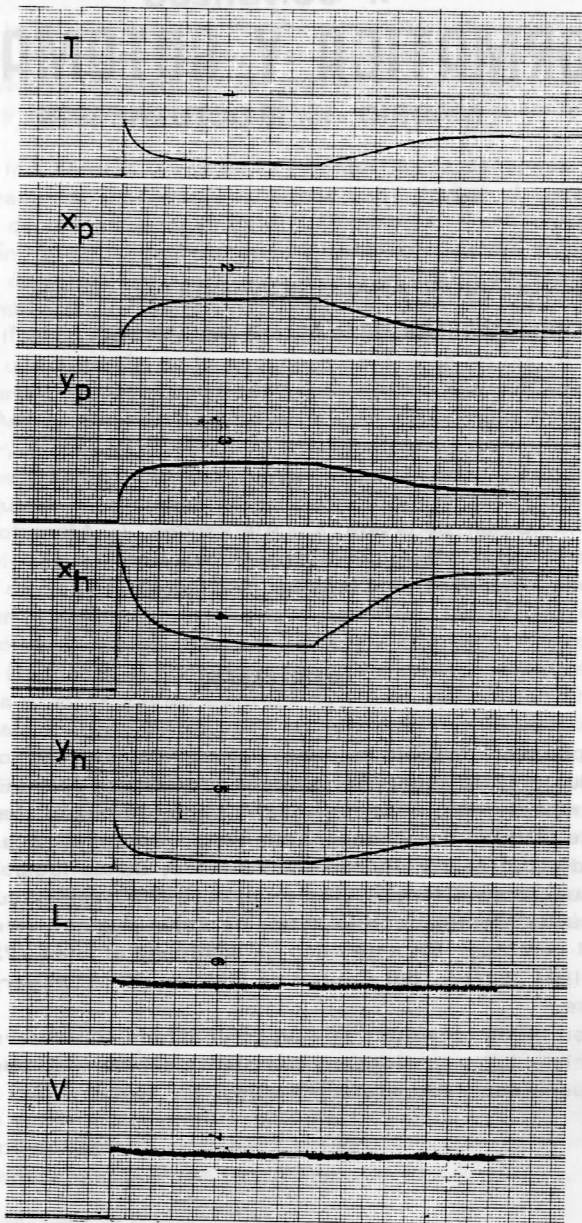


Figura 5. Diagrama de flujo del cálculo híbrido



Tiempo Columna	-1000 h	-999.28 h	0.82 h
Tiempo Cálculo	0m	7.5 m	8 m

Figura 6. Respuesta del plato condensador a la perturbación del reflujo.