

Uso de TICs en la enseñanza del diseño y análisis de procesos

Ing. Juan D. Soto, Ing. Carmen N. Paniagua, Ing. Omar A. Iglesias

LITT – Facultad de Ingeniería – UNLP

incubadora@ing.unlp.edu.ar, cnpaniag@ing.unlp.edu.ar, oaiglesi@ing.unlp.edu.ar

Resumen

Se plantea la utilización de TICs de variada complejidad, tales como planillas de cálculo y simuladores de proceso, para la enseñanza de distintas técnicas vinculadas al diseño preliminar de procesos químicos.

Se establecen las necesidades que deben estar cubiertas en los sistemas informáticos utilizados, ya sea que éstos las dispongan a priori o deban ser incorporadas, previo a su utilización docente.

Sobre la base de un ejemplo se muestran distintos enfoques y desarrollos, potencialidades y limitaciones, del software utilizado para la enseñanza del tema, planilla de cálculo Excel o simulador de procesos Sim42.

Palabras claves: Enseñanza de la Ingeniería, Planillas de Cálculo, Simuladores de Procesos, Diseño Preliminar.

1. Introducción

En la fase final de la formación de un ingeniero químico deben abordarse las cuestiones atinentes al diseño y análisis de plantas de proceso.

Normalmente, ello ocurre durante el último año de la carrera, cuando se han adquirido los conocimientos fisicoquímicos y termodinámicos básicos así como las relaciones funcionales que permiten realizar el diseño o representar el comportamiento de los distintos equipos que pueden estar presentes en una planta.

Realizar el diseño de un proceso, sobre todo en las etapas preliminares del mismo, no es otra cosa que seleccionar un esquema de flujo para la planta y los equipos que involucra ese esquema, interconectar adecuadamente el equipamiento elegido y establecer la información (dimensiones físicas y condiciones operativas) necesaria para que el sistema quede unívocamente determinado. La selección del esquema de proceso y de sus equipos habilita una primera instancia de decisión, crucial no sólo por los resultados técnicos que se alcanzan sino por las consecuencias económicas que se derivan de cada elección.

Una impureza puede ser retirada antes o después de una determinada etapa, la separación de dos compuestos puede realizarse por distintas vías, un reactivo no reaccionado puede o no ser recuperado y devuelto a la etapa de reacción, etc. En cada uno de estos casos el esquema de proceso cambia, así como los equipos que se requieren para llevar a cabo la operación planteada y, por supuesto, los resultados económicos no serán los mismos.

La enseñanza de estos temas se ve seriamente limitada, en cuanto a ejercitación práctica, por la complejidad inherente a cualquier problema, más o menos realista, que se pueda proponer a los estudiantes. No sólo esto, sino que, además, debe contemplarse la posibilidad de que el alumno proponga, resuelva y analice alternativas al esquema de proceso y al equipamiento originalmente elegido.

Afortunadamente, la creciente disponibilidad de herramientas informáticas, desde planillas de cálculo hasta simuladores de proceso, permiten superar, con éxito, estas limitaciones.

La utilización de TICs en la enseñanza de temas de Ingeniería Química, al igual que en otras especialidades, ha sido expuesta en distintas ocasiones y con diferentes alcances, como, por ejemplo, en Dahm et al.[1], Mohammad and Takriff [2], Savelski et al. [3]

Sin embargo, en lo que respecta a la consideración de las etapas preliminares del diseño de procesos y el análisis de alternativas, son relativamente escasas las experiencias pedagógicas con utilización de TICs que se han llevado a cabo.

Desde el punto de vista formal, el Diseño Conceptual de Douglas [4] ha dejado establecido un esquema coherente para la totalidad del diseño preliminar de un proceso.

Algunas de las cuestiones propuestas en esa metodología son particularmente interesantes de enfatizar en la fase final de la formación de un ingeniero. Son aquellas referidas a la detección temprana de las etapas de proceso que resultan determinantes del beneficio (o costo) total de la futura planta así como las variables de diseño a cuya variación resulta más sensible ese costo total. Obviamente, cualquier alternativa de modificación estructural o de condiciones operativas que se desee analizar, deberá tener en cuenta, necesariamente, estas influencias sobre los costos.

Una vez más, la posibilidad de concretar el análisis estará determinado por la disponibilidad de un software adecuado que permita considerar todos los aspectos que confluyen en cualquier diseño de procesos de cierta complejidad.

2. Requerimientos básicos de un software para el diseño preliminar de procesos

Una secuencia de las tareas a desarrollar en el diseño preliminar de un proceso podría ser la que sigue:

- 1) Propuesta de un esquema de proceso: Aquí, fundamentalmente en base a las reacciones químicas que se producen, ciertas reglas básicas y la experiencia previa, se selecciona un diagrama de flujo y se definen las etapas o secciones principales.
- 2) Análisis de grados de libertad: En función de las especificaciones particulares del caso y de las relaciones funcionales que deben cumplirse en las partes constitutivas del proceso, se determina el número de variables que es necesario fijar para poder realizar un cálculo.
- 3) Generación del caso base para el cálculo: Teniendo en cuenta los grados de libertad que tiene el sistema, las características de la herramienta de cálculo a utilizar y ciertas reglas de buena práctica, se han de seleccionar las variables de diseño para la simulación del proceso y ciertos valores razonables para las mismas.
- 4) Simulación del sistema: La simulación no es otra cosa que el cálculo, complejo, en general, de un modelo matemático que representa el diagrama de flujo elegido. Los simuladores ofrecen ciertas “estructuras patrón” que facilitan la estructuración de ese modelo. De acuerdo a las características particulares del programa se “vuelca” el caso base en el simulador, tras lo cual se han de obtener los resultados del cálculo, un dimensionado básico de los equipos y los valores de las variables operativas.
- 5) Estimación de ingresos y egresos: Una vez conocidos los caudales de insumos y productos y las dimensiones de los equipos es posible realizar una estimación del beneficio (o costo) total anual asociado al caso base simulado. Para esto es preciso que el software posea ciertas características especiales que permitan esa estimación.
- 6) Análisis de costos y significación de variables: Este análisis, propuesto por Douglas, permite detectar los sectores de proceso que resultan ser responsables primarios del beneficio (o costo) calculado así como las variables de diseño a las que este beneficio (o costo) es más sensible.

- 7) Generación de alternativas: Como consecuencia de los pasos anteriores es posible plantear alternativas en el diagrama escogido o en el valor de las variables operativas que deberían mejorar el resultado económico del proceso.

Las tres primeras tareas y la última involucran actividades de índole conceptual en tanto que las restantes requieren del auxilio de algún medio de cálculo para poderse realizar.

El software que se utilice debe poseer ciertas capacidades imprescindibles y otras deseables, sobre todo, en el caso de estas últimas, si se piensa en su utilización como apoyo en la enseñanza.

El aspecto central es la predicción de propiedades fisicoquímicas y termodinámicas de compuestos puros y mezclas, cuestión absolutamente necesaria para realizar el cálculo de los equipos y a cuya adecuada correspondencia con las mezclas y condiciones operativas imperantes quedan supeditados los resultados de la simulación.

Otro tanto ocurre con los modelos disponibles para los equipos. Aquí es crucial la robustez numérica y la velocidad de convergencia con las que se resuelven las relaciones funcionales del modelo adoptado para representar cada equipo. Esto es así ya que, normalmente, el usuario solo puede elegir, si cabe, entre un conjunto limitado de variantes para modelar un equipo determinado. El tercer aspecto imprescindible para la realización del análisis de alternativas en un diseño preliminar es la capacidad de estimar los costos asociados al esquema propuesto y, en particular, la inversión necesaria en equipamiento.

En este último sentido, se dispone de distintas fuentes de información, por ejemplo, Guthrie [5] o Tourton [6], que, en lo esencial, consisten en una serie de relaciones funcionales entre el costo de un equipo y uno o más parámetros característicos del mismo. Obviamente, en todos los casos la información está recopilada a un determinado tiempo, lo que implica la necesidad de proceder a su actualización, haciendo uso de índices específicos.

Debe advertirse que esta metodología tiene un margen de error importante, pero su incidencia disminuye cuando se trata de comparar alternativas, pudiéndose admitir que las diferencias encontradas son válidas, al menos en un plano semicuantitativo.

Es preciso dejar establecido que, en general, no se dispone de un software para diseño de procesos que incluya el análisis de significación de costos y sensibilidad de éstos a las variables de diseño, debiéndolo realizar el usuario en forma manual. Se podrá ver más adelante las distintas soluciones que estructuraron los autores, de acuerdo al software utilizado en la enseñanza del tema.

Teniendo en cuenta, sobre todo, la aplicación pedagógica de este software deberían considerarse otros aspectos de cierta relevancia, como, por ejemplo, lo amigable de la interacción con el usuario, las capacidades gráficas disponibles o la posibilidad de transferir información a otros utilitarios. Sin embargo no se han de considerar ya que las mismas resultan no significativas para el tema central del presente trabajo.

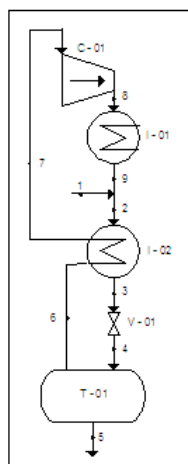


Figura 1

3. Ejemplo de trabajo: licuación de metano

El problema oportunamente propuesto para la aplicación de las técnicas de diseño preliminar fue la licuación de una corriente de metano, de caudal conocido y disponible a una determinada presión y temperatura.

En la figura 1 se puede ver la estructura más sencilla de un posible esquema de proceso, el ciclo Linde, capaz de lograr la licuación requerida.

Básicamente, consiste en una compresión del gas (C-01) seguida de un enfriamiento (I-01), utilizando agua para bajar la temperatura.

Después de introducir la corriente de alimentación de metano se produce otro enfriamiento con el gas recirculado, que proviene del tanque de separación T-01, el que se ubica luego de la expansión en la válvula V-01. La reducción conjunta de presión y temperatura logra una condensación parcial de la corriente gaseosa,

recogiéndose la fase líquida en una de las salidas de T-01.

El esquema puede aumentar en complejidad. De hecho, el conjunto compresor – intercambiador debería repetirse tantas veces como fuese necesario para asegurar una relación entre la presión de salida y la entrada en el compresor, de acuerdo a las reglas de buena práctica, menor a 5 y, de acuerdo a la teoría, iguales en todos los compresores que componen la batería.

Asimismo, es posible agregar otros enfriamientos entre el punto de ingreso de la alimentación y el intercambio con el reciclo proveniente de T-01. En este caso, el enfriamiento debe realizarse con un fluido refrigerante como, por ejemplo, amoníaco.

La primera cuestión que debe resolverse es la determinación del número de grados de libertad que tiene el problema, de acuerdo a los términos en que está planteado.

Esto puede realizarse de un modo formal, a partir de considerar las relaciones que representan adecuadamente al sistema, o bien, de un modo conceptual, teniendo en cuenta el modo en el que opera un eventual sistema existente.

En el caso del problema planteado, considerando un número NC de etapas de compresión, se encuentra que el número de grados de libertad es igual a $2NC+1$

En la elección de las variables de diseño debe tenerse en cuenta la posibilidad de estructurar, con cierta facilidad, el caso de base. Así, conviene elegir variables sobre las que se dispone alguna información o criterio, que pueda usarse para darles un valor razonable o típico.

Es el caso, por ejemplo, de las temperaturas de metano a la salida de los enfriadores que se encuentran a continuación de cada compresor. En estos equipos es típico que la corriente que se está enfriando se encuentre unos 5°C por encima de la temperatura del refrigerante, un valor conocido en el caso del agua.

Otro tanto ocurre con las presiones a la salida de los compresores, donde la relación teórica de compresión óptima permite, conocidas las presiones a la entrada del primer equipo y a la salida del último, darles un valor razonable. Por supuesto, esto requiere que la presión en T-01 sea, también, una variable de decisión.

Otro criterio para elegir una variable como de diseño es que la misma permita definir, unívocamente, cierta condición o estado del sistema. Tal el caso de la fracción que condensa tras el pasaje en la válvula V-01.

En ese punto se trata de un compuesto puro que, a una presión dada, está en estado de ebullición. La fracción de metano que ha pasado a la fase vapor está indeterminada y la forma más sencilla de establecerla es fijar ese valor, directamente. Por supuesto, ese valor no es conocido, pero es obvio que, cuanto más pequeño sea mejor resultados económicos se habrán de conseguir.

Con esto, quedan totalmente determinadas las variables de diseño y se puede estructurar el caso base. Esta estructuración dependerá, obviamente, de cual sea el entorno en el que se esté trabajando.

4. Uso de una planilla de cálculo como entorno de trabajo

Los autores han adoptado las planillas de cálculo como entorno de trabajo para la cátedra Ingeniería de Procesos, asignatura del noveno cuatrimestre de la carrera Ingeniería Química de la UNLP.

En este sentido, los autores han recogido una amplia experiencia en el uso de este utilitario como auxiliar pedagógico en la enseñanza de temas de Ingeniería [7], [8].

En estos casos, normalmente, las capacidades gráficas y de cálculo que posee la planilla son ampliadas mediante el agregado de complementos específicos, desarrollados, en el caso de la planilla Excel, en el lenguaje VBA.

Para el ejemplo elegido se utilizó el complemento TPX, desarrollado por David G. Goodwin [9], donde se dispone de diversas funciones para calcular las propiedades de compuestos puros que permiten la simulación de ciclos y otros procesos complejos.

Es posible determinar ciertas propiedades intensivas, presión, temperatura, entalpía, entropía, fracción vaporizada, etc., en función de dos de ellas, por ejemplo, el valor de la entalpía del metano conocidas la presión y la temperatura.

Además de la incorporación de TPX, fue necesario desarrollar otro módulo en VBA para realizar la estimación del costo del equipamiento, de acuerdo a las correlaciones de Tourton [6] y los gastos en servicios auxiliares, así como funciones soporte del diseño rápido de algunos equipos.

El uso de la planilla, con la incorporación del complemento TPX y el módulo de costeo, permite la realización de todos los pasos, planteados oportunamente, del diseño preliminar del proceso de licuación de metano propuesto.

El alumno debe explicitar aquí todas las relaciones funcionales que se verifican en los distintos equipos del esquema, con lo que se produce un refuerzo de la captación conceptual de cada operación.

Gracias al complemento TPX es posible, por ejemplo, plantear la evolución isentrópica que se verifica en cada compresión o la expansión isentálpica en la válvula V-01.

Asimismo, se puede definir un orden de cálculo para la distintas variables dependientes, que resultan de la elección de variables de diseño realizada.

Esto no es absolutamente necesario pero siempre resulta conveniente, sobre todo cuando quedan, en el cálculo, esquemas que se resuelven por un proceso iterativo [7].

El esquema abierto que se da naturalmente en cualquier cálculo estructurado en una planilla permite que el usuario seleccione, a su arbitrio, el orden en que se lleva a cabo según sus conveniencias. En este sentido, y para el tipo de problemas que se está analizando, la planilla se comporta como un simulador de procesos en base a ecuaciones, en vez de los más difundidos, de estructura modular, como el sim42 que se verá más adelante.

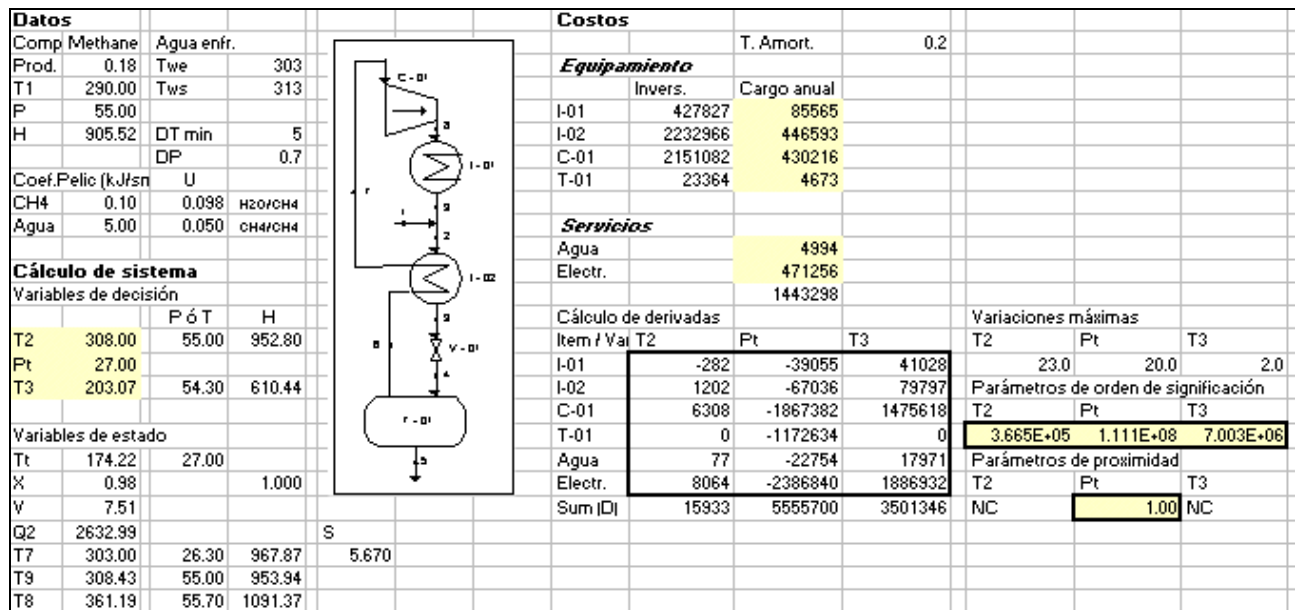


Figura 2

En la figura 2 se muestra un fragmento de la hoja con los cálculos correspondientes a la simulación del ciclo Linde más simple, con una relación de compresión aproximadamente igual a 2, lo que requiere una única etapa de compresión.

Allí se puede ver, en el sector inferior derecho, los cálculos requeridos por la metodología propuesta por Douglas para realizar el análisis de significación de variables.

Los parámetros que se consideran son:

Parámetro de rango de significación (rank-order parameter):

$$r_i = \sum_{j=1}^{NF} \left| \frac{\partial FO}{\partial VD_i} \right| \Delta VD_i$$

Parámetro de proximidad

$$p_i = \frac{\left| \sum_{j=1}^{NF} \frac{\partial FO}{\partial VD_i} \right|}{\sum_{j=1}^{NF} \left| \frac{\partial FO}{\partial VD_i} \right|}$$

siendo

FO: Función objetivo adoptada para el caso (beneficio o costo total anual)

VD_i: variable de diseño i; i = 1,...,NF

ΔVD_i: variación máxima prevista para la variable de diseño i

Las derivadas, obviamente, se calculan como cocientes incrementales a partir de los resultados obtenidos perturbando al modelo de a una variable por vez.

A partir del cálculo de estos parámetros es posible reducir el conjunto de variables de diseño a considerar solo a aquellas que tienen una incidencia sustancial sobre la función objetivo adoptada.

Para el resto, basta con asignarles un valor razonable, de acuerdo a las reglas de las buenas prácticas de diseño.

La determinación de estos parámetros obliga a estimar los valores máximos y mínimos de cada variable de diseño, lo que constituye otro ejercicio de análisis conceptual por parte de los alumnos, independientemente del software que se esté utilizando para realizar el análisis de significación. Según Douglas sólo deben considerarse como significativas aquellas variables de diseño cuyo parámetro de rango de significación sea, al menos, superior al 10% del máximo r_i obtenido y cuyo parámetro de proximidad, mayor a 0,5. En la figura puede verse que sólo la presión en T-01 resulta ser significativa.

5. Uso de un simulador de procesos como entorno de trabajo

El otro sistema informático utilizado en el tema fue el simulador de procesos Sim42 [10]. Sim42 es un simulador de procesos de código abierto, escrito en lenguaje Python [11] y licenciado con una licencia de código abierto tipo BSD (Berkeley Software Distribution)

Posee varias interfaces para el usuario, entre ellas una, Simulator Browser Assistant o SimBA, basada en un Web browser (Internet Explorer, por ejemplo) lo que permite su utilización en forma remota.

El paquete de predicción de propiedades, para el caso de actividades docentes, es provisto, en forma gratuita, por la empresa Virtual Materials Group (www.virtualmaterials.com), actualmente a cargo del mantenimiento del sitio de Sim42.

El paquete de predicción de propiedades y los módulos disponibles en el simulador permiten, en una forma relativamente sencilla, el cálculo y análisis de esquemas de proceso con mezclas de compuestos de gran complejidad.

Sim42 es un programa en desarrollo, con un grado de completamiento que si bien lo vuelve totalmente funcional para el cálculo de procesos no está dotado de facilidades para el dimensionado de equipos o el cálculo del costo de los mismos.

Su interfaz con el usuario, en el caso de SimBA, se estructura en base a “fichas” y listas, sin utilizar ningún componente gráfico.

En la figura 3 pueden apreciarse las principales características de la ventana principal de SimBA, con una zona para el ingreso de órdenes (barra de menú y línea de comandos), un árbol de

navegación, la ventana del objeto activo, donde se ingresan los datos y se visualizan los resultados del equipo seleccionado y un sector de mensajes.

Existe la posibilidad de generar un diagrama de proceso (Process Flow Diagram o PFD), un gráfico muy simple donde pueden verse los equipos que componen el proceso y las conexiones existentes entre ellos.

Debe anotarse que, a diferencia de lo que ocurriría con la planilla, el simulador Sim42 estructura el orden de cálculo en forma automática, sin permitir la iniciativa del usuario. Aún más, verifica permanentemente la posibilidad de concretar cálculos pendientes en cualquier punto del esquema, en la medida en que se vaya completando, merced a la acción del usuario o por cálculos que realiza el propio programa, la información necesaria. Asimismo, la selección de variables de diseño se ha de ver influenciada por el diseño de entradas y salidas y el orden de cálculo interno de los distintos módulos.

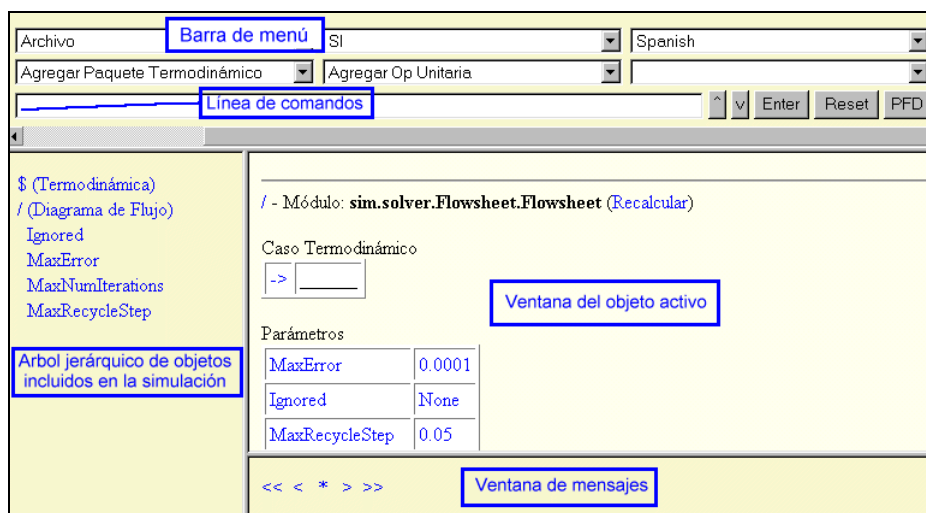


Figura 3

Para la utilización de SimBA como entorno de trabajo para la aplicación de las técnicas de diseño preliminar fue necesario ampliar las prestaciones de Sim42, de modo que fuera posible el dimensionado de los equipos y la posterior estimación de sus costos. Para esto último se utilizaron las correlaciones de Tourton [6].

En esta etapa de desarrollo, en el planteamiento de las rutinas de dimensionado se tuvieron en cuenta los parámetros necesarios para el costeo del equipo, con tres situaciones posibles:

1. La correlación requería un valor disponible en el simulador, por lo cual no era necesario ningún agregado. Esto ocurrió con todos los equipos de impulsión de fluidos
2. La correlación requería un valor no disponible en el simulador pero que resultaba fácilmente calculable, con una pequeña modificación, a partir de la información que suministraba SimBA. Esto fue así en el caso de los equipos de intercambio.
3. La correlación requería un valor no disponible en el simulador y cuyo cálculo implicaba el agregado de una rutina de cierta envergadura en cuanto a código. Este fue el caso de las torres de destilación y absorción y de los tanques de separación.

En todos los casos se incorporó la selección, por parte del usuario, del tipo de equipo (compresor centrífugo, axial, motor eléctrico, de combustión interna,...) y material de construcción del mismo. Esto implicó la incorporación, dentro del módulo de cada equipo, del correspondiente código para la lectura de los datos ingresados por el usuario o calculados por el simulador, el encuadramiento, dentro de los valores máximos y mínimos, por sobredimensionamiento o división de corrientes, del parámetro o parámetros requeridos para el cálculo de costo y la determinación de ese valor.

También fue necesario la generación de un nuevo módulo que permitiese la construcción de funciones objetivo parciales, recogiendo, básicamente, tres tipos de componentes: 1) amortización de equipos, 2) ingresos por ventas de productos y subproductos y 3) egresos por compra de insumos, materias primas y servicios.

La función objetivo para estos módulos es Beneficio Total Anual, por lo cual los componentes tipo 2 se incorporan sumando y los otros dos, con signo contrario. Obviamente, si no existen ingresos, la función se transforma en Costo Total Anual, expresado como un valor negativo.

El usuario debe ingresar el índice de actualización (Chemical Engineering Plant Cost Index) para el cálculo de costo del equipamiento y el número de horas de funcionamiento anual previsto para la planta.

Esto facilita el análisis de estructura de costos, al permitir dividir el diagrama de proceso en diversas secciones y determinar, en cada una, la participación en el costo total.

Para el problema planteado, esta división permite determinar, al igual que en el caso de la planilla como entorno de trabajo, que las etapas de compresión son las responsables absolutas del CTA.

En la figura 4 se pueden ver distintos sectores de una de la funciones objetivo parciales definidas para el problema, abordado con el simulador Sim42, usando la interfase SimBA, específicamente, la que corresponde a la primera etapa de compresión. La sección abarca el compresor C-01, el enfriador I.01 y los consumos de agua de enfriamiento y energía eléctrica.

Señal	Depreciation1	-> /C-01.Depreciation	1306687.3		USD/year	ActualV_Depreciation1	1519452.0
	Depreciation2	-> /I-01.Depreciation	64525.293		USD/year	ActualV_Depreciation2	75032.0
	ItemPurchased1	-> /FAgua-01.ValueHour	19.175746		USD/h	AnnualV_ItemPurchased1	153406.0
	ItemPurchased2	-> /WCompr-01.ValueHour	251.90902		USD/h	AnnualV_ItemPurchased2	2015273.0
	TotProfit	-> _____	-3763163	=		CEPCI_Index	444.2
						Ignored	None
						NumDepr	2
						NumHoursYear	8000
						NumItemPurchased	2
						NumItemSold	0
						TotalCost	3763163.0
						TotalDeprCost	1594484.0
						TotalIncome	0.0
						TotalPurchased	2168679.0

Figura 4

El valor de depreciación que figura a la izquierda está calculado a valores de 1996 (CEPCI = 382), en tanto el de la derecha lo está en el tiempo correspondiente al índice, 444.2, ingresado por el usuario. Los costos directos anualizados se calculan, para cada insumo, como el producto del valor horario, que figura a la izquierda, y el número de horas anuales de funcionamiento, 8000 de acuerdo al dato ingresado. Lo mismo ocurriría, si hubiese, para cada ingreso por ventas.

El análisis se realizó perturbando el sistema y calculando manualmente los parámetros de rango de significación y proximidad. En estos momentos se encuentra en desarrollo un nuevo módulo de Sim42, por el que será posible el cálculo automático de esos valores, quedando a cargo del usuario el ingreso de las variables a perturbar, la magnitud de la perturbación a introducir y el rango de variación de cada variable de decisión.

6. Conclusiones

Se han utilizado diversos sistemas informáticos como apoyo para la enseñanza de técnicas asociadas con el diseño preliminar de procesos.

Ha quedado en claro que esos tópicos son altamente provechosos en la generación de conceptos globales del diseño de procesos así como también, de no mediar el apoyo informático, la comprensión de esas técnicas se vería totalmente comprometida, en medio de una farragosa actividad de cálculo.

Se puede apreciar que su enseñanza no requiere de programas de alta complejidad, siendo posible estructurar la enseñanza sobre la base de una simple planilla de cálculo.

Esa misma sencillez obliga a que el alumno deba resolver por sí mismo un número de cuestiones que quedan fuera de su alcance en otros programas de capacidades más amplias.

Claro está que los problemas que se pueden abordar en ese entorno están limitados en cuanto al tipo de proceso a considerar, aunque no por ello dejan de presentar alternativas de diseño, que justifican y enriquecen el análisis.

Por fin, un simulador de procesos es la herramienta más poderosa para trabajar en el tema. Aquí no existen restricciones de complejidad aunque pueden presentarse, como en el caso del simulador Sim42, alguna limitación en las prestaciones.

En ese caso, la importancia de contar con un sistema de código abierto es clave. Más allá del esfuerzo que pueda significar la ampliación de las funciones en los módulos existentes o la generación de nuevos módulos, siempre será posible contar con un programa que realice todas las operaciones que el tema, diseño preliminar u otro cualquiera, requiera.

Referencias

1. K.D. Dahm, R.P. Hesketh, M.J. Savelski, "Is Process Simulation Used Effectively in ChE Courses?", *Chemical Engineering Education*, Vol.36, nº 3, Summer 2002
2. A.W. Mohammad and M.S. Takriff, "Using professional simulation software for better integration in the chemical engineering undergraduate curriculum", *World Transactions on Engineering and Technology Education*, vol.2, nº2, 2003
3. M.J. Savelski, K.D. Dahm, S. Farrell, and R.P. Hesketh, "Process Simulators in the ChE Curriculum", 16th International Congress of Chemical and Process Engineering, Prague, C.R., Paper B4-0076, August, 2004.
4. J.M.. Douglas, "Conceptual Design of Chemical Processes", McGraw-Hill Book Company, 1988
5. K.M. Guthrie., "Capital Cost Estimating," *Chemical Engineering*, March 24, 1969
6. R.Tourton, R.C. Bailie., W.B. Whiting, and J.A. Shaeiwitz, "Analysis, Synthesis, and Design of Chemical Processes", Prentice Hall, 1998.
7. O.A.Iglesias, C.N.Paniagua, "Use of Spreadsheets in Optimization Problems involving Iterations", *Computer Applications in Engineering Education*; vol.7, 1999
8. O.A.Iglesias, J.Pastor, A.Henseler, R.Bertolini, J.D.Soto, C.N.Paniagua, "Spreadsheet use in Conceptual Design of Chemical Processes", *Int. J. Engng, Ed.*, Vol.20, nº 20, 2004
9. Sitio Web: <http://www.tecnun.es/asignaturas/termo/SOFTWARE/TPX/index.html>
10. Sitio Web: <http://www.virtualmaterials.com/sim42>
- 11 Sitio Web: <http://www.python.org>