

La simulación como método de aprendizaje en el diseño de sistemas térmicos empleados en la desalación de agua de mar

José Jaime Sathwani Alonso, Juan José Santana Rodríguez, Noemi Melián Martel
Departamento de Ingeniería de Procesos. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.

RESUMEN

El sistema de aprendizaje basado en la simulación aplicables al estudio, aprendizaje y desarrollo de competencias es un campo de trabajo activo que ha demostrado ser eficiente en los distintos niveles educativos, por lo que se propone su uso como orientación para promover el cambio metodológico en el Espacio Europeo de Educación Superior

En este trabajo se presenta la experiencia del uso del programa informático de simulación ASPEN-HYSYS para el diseño de sistemas térmicos empleados en la desalación de agua de mar, diseño que, sin esta herramienta de trabajo, exige un estudio detallado de los balances de materia y energía aplicados a los diferentes equipos de la instalación y que conlleva numerosas iteraciones con el objetivo de llegar a la solución del problema. El empleo del programa informático ASPEN-HYSYS permite resolver de forma simultánea ecuaciones algebraicas, además de incluir una amplia librería con las propiedades termodinámicas de un gran número de especies, entre ellas la del agua y el agua de mar.

Es de especial interés la aplicación de este entorno de simulación ya que permite fomentar un aprendizaje activo y la mejora del rendimiento académico, permitiendo que el estudiante se acerque de una forma comprensiva al problema que se está planteando, analizando las variables que intervienen el diseño térmico empleados en la desalación de agua de mar y su influencia sobre el modelo planteado.

Palabras clave: aprendizaje activo, aprendizaje basado en simulación, simulación, ASPEN-HYSYS.

1. INTRODUCCION

Los avances en las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) están promoviendo el uso de nuevas formas de aprendizaje en el seno de la Universidad. En este sentido, la simulación de procesos industriales empleando programas informáticos comerciales se presenta como complemento a las metodologías de enseñanzas tradicionales. Así mismo, es una de las grandes herramientas de la ingeniería y que cada vez está más presente en los proyectos docentes de las titulaciones relacionadas con la ingeniería de procesos.

Estos entornos de simulación destinados, en este caso, a fines didácticos, tiene como objetivo la experimentación del estudiante con una variedad de situaciones que se aproximan a la realidad. Para ello, se requiere que el alumno tenga unos conocimientos teóricos básicos sobre el contenido de la materia en la que se va a trabajar. Básicamente, el programa informático muestra un escenario o entorno de simulación con el que el estudiante puede experimentar, ya sea a través de la indicación de las variables del proceso, o bien realizando variaciones sobre el mismo, comprobando las consecuencias de la toma de decisiones sobre el modelo propuesto. De tal forma, el estudiante toma un papel activo en su proceso de aprendizaje, decidiendo qué hacer y analizando las consecuencias de sus decisiones.

Diseñar un proceso de desalación de agua de mar mediante procesos térmicos resulta ser una actividad que un ingeniero o ingeniera debe estar en condiciones de realizar. La práctica habitual para el diseño consiste en el cálculo de los balances de materia y energía aplicados a los diferentes equipos de la instalación. Sin embargo, lo anteriormente relacionado conlleva a realizar numerosas iteraciones con el objetivo de llegar a la solución del problema, lo que supone la dedicación de numerosas horas de trabajo.

En este trabajo se describe la metodología del uso del simulador comercial ASPEN-HYSYS¹ para la simulación de sistemas térmicos empleados en la desalación de agua de mar, más concretamente la evaporación súbita o flash multietapa (Multi-Stage Flash, MSF), y la evaporación multiefecto (Multi-Effect Distillation, MED). Es de especial interés la aplicación de este entorno de simulación ya que permite que el estudiante analice las variables que intervienen el diseño y su influencia sobre el modelo planteado.

1.1. Procesos térmicos de desalación convencionales

La desalación de agua de mar mediante su evaporación y posterior condensación de los vapores producidos ha sido una técnica utilizada históricamente. No obstante, no fue hasta mitad del siglo XX cuando comenzó a desarrollarse a través de la evaporación multiefecto y la evaporación súbita o flash multietapa.

La tecnología de desalación por evaporación súbita o flash (MSF) está basada en evaporar el agua de mar en cámaras o etapas a una presión menor que la presión de saturación a la temperatura existente que da lugar a una evaporación súbita. Este proceso se logra introduciendo agua de mar precalentada mediante unos condensadores en cada etapa, condensando así el vapor libre de sales formado por efecto flash. Antes de entrar en la primera cámara el agua de mar recibe el aporte de calor externo mediante una corriente de vapor motriz externo. Al entrar en la cámara, que está a una menor presión, se provoca la expansión súbita del agua de mar vaporizándose el agua pura y quedando las sales en el fondo del depósito. Los principales componentes de una planta de destilación MSF, se comprende de lo siguiente: pretratamiento, evaporador multietapa MSF, calentador principal y eyectores de vacío. Típicamente esta tecnología utiliza entre 15 y 25 cámaras dispuestas secuencialmente a presión y temperaturas decrecientes desde la primera etapa. Operan a una temperatura de salmuera no superior a los 110°C debido a que a temperaturas superiores se produce corrosión en las superficies metálicas de los intercambiadores de calor. En la figura 1 se muestra el esquema típico de una planta MSF.

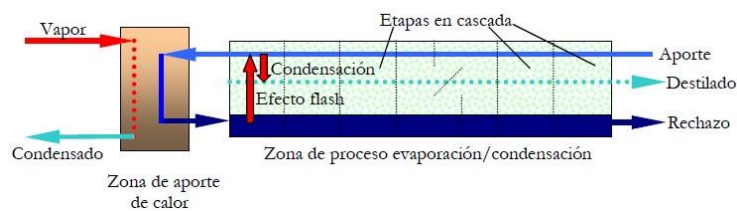


Figura 1. Esquema de una planta de evaporación súbita o flash².

La destilación múltiple efecto (MED) utiliza el mismo principio que el proceso MSF. La diferencia principal radica en la forma en la que se lleva a cabo la evaporación. En las plantas MED se emplean evaporadores tipo de película delgada, con los que se obtienen mejores coeficientes de transferencia de calor que los que se pueden obtener en plantas MSF donde se produce la evaporación súbita en forma directa².

En la destilación multiefecto con evaporadores de película delgada, la evaporación se produce de forma natural en una cara de los tubos de un intercambiador aprovechando el calor latente desprendido por la condensación del vapor en la otra cara del mismo^{2, 3}. Consta básicamente de dos equipos, un condensador y un evaporador de tubos horizontales.

En el proceso MED el agua de mar, precalentada en la etapa de condensación del vapor generado en el último efecto, ingresa al primer efecto donde se eleva su temperatura al punto de ebullición con vapor de calefacción. El agua de mar se rocía sobre la superficie de los tubos del evaporador donde se forma inmediatamente una película delgada la cual favorece su evaporación. El vapor producido es colectado en este efecto y enviado al interior de los tubos evaporadores del efecto siguiente, el cual opera a una temperatura y a una presión inferior a la anterior. La salmuera proveniente del primer efecto es también enviada al efecto siguiente donde se rocía formando una película delgada sobre la superficie de los tubos por los que circula el citado vapor repitiendo el proceso de evaporación. El vapor de cada uno de los efectos se convierte así en agua desalinizada al ser condensado en el evaporador del efecto siguiente. El efecto se repite varias veces dependiendo del número de efectos del sistema¹. En la figura 2 se muestra el esquema típico de una planta MED.

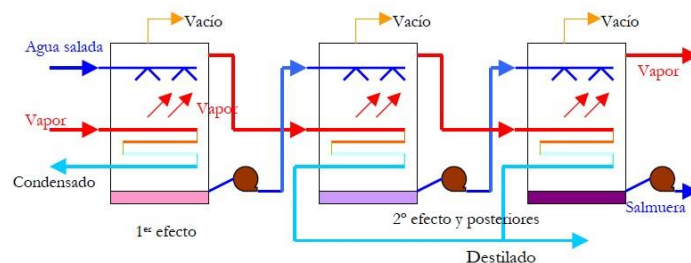


Figura 2. Esquema de una evaporación múltiple efecto con evaporadores horizontales².

1.2. Herramientas de simulación aplicadas a procesos industriales

Existe una gran variedad de simuladores de procesos comerciales, existiendo una variada oferta de licencias para su uso docente. Algunos de estos simuladores son: ASCEND, Aspen Hysys, Aspen plus, CHEMCAD, COO simulator, Design II, Dymola, SimSciEsscor DYNsim, EMSO, GIBBSim, gPROM, OpenModelica, Petro-SIM, SimSci-Esscor PRO/II, ProMAX, SysCA, UniSim Design y VMGSim, entre otros^{4,5}.

La casa comercial AspenTech®³ oferta una suite de programas encaminados a la simulación de procesos, destacando entre ellos ASPEN-HYSYS y ASPEN-PLUS. El ASPEN-HYSYS es ampliamente utilizado en universidades, tanto a nivel introductorio como a nivel avanzado en el campo de la investigación. En la industria, el programa informático es usado en investigación, desarrollo, modelado y diseño.

El programa informático descrito permite obtener una estimación de las variables de sistema (temperaturas, presiones de operación, salinidades, flujos, etc.) para realizar posteriormente un prediseño de la planta. Así mismo, permite evaluar las diferentes alternativas de configuración del proceso y determinar la sensibilidad de las variables del proceso con respecto a cambios viables introducidos en el proceso a criterio del estudiante.

Con esta herramienta el estudiante podrá comprender mejor los fundamentos teóricos del proceso MSF y MED.

2. METODOLOGÍA

La metodología parte de la adquisición de la licencia del simulador comercial aspenONE® for Universities V8.8, en cuya suite se encuentra el ASPEN-HYSYS, por parte del Departamento de Ingeniería de Procesos de la Escuela de Ingenierías Industriales y Civiles de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, además de los conocimientos por parte del profesorado, para el uso del programa informático, estando actualmente en vías de ser editado por el Servicio de Publicaciones de la UPLGC un Manual docente de introducción a ASPEN- HYSYS⁵.

La tarea de configuración del simulador para los procesos térmicos empleados en la desalación de agua de mar que el estudiante tendrá que seguir se resume en la figura 3.

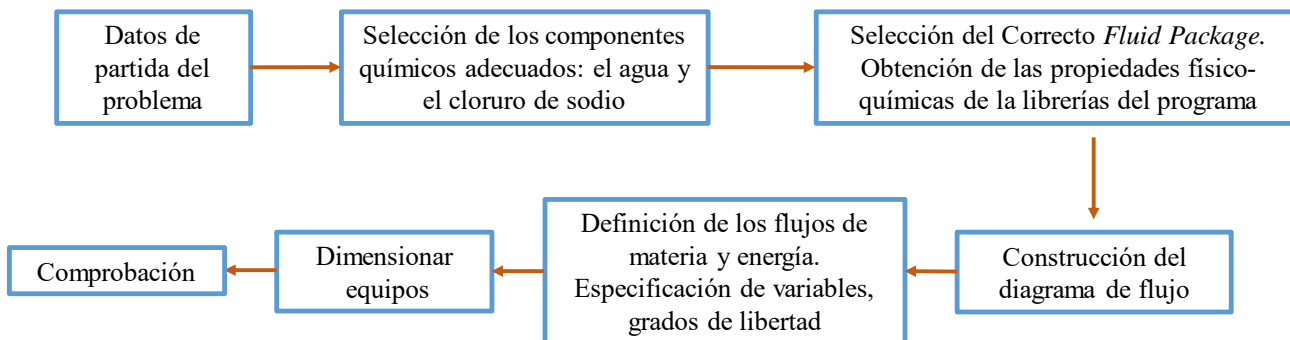


Figura 3. Ruta para definir el entorno de simulación.

En una primera fase se elaboró una colección de problemas resueltos y otros propuestos para el estudio de los procesos MSF y MED. Esta colección de problemas intenta fomentar una metodología de aprendizaje basada en problemas, donde el estudiante aplicará los balances de materia y energía a cada elemento de la instalación, junto con las ecuaciones de transferencia de calor en los intercambiadores (evaporador, precalentadores y condensador final) según la metodología tradicional. En esta misma colección de problemas se incluyen los propuestos donde los estudiantes recabarán toda la información y la experiencia necesaria para su posterior simulación. Destacar en este punto que se estudiará la evaporación en simple efecto y sin tener en cuenta el aumento del punto de ebullición.

En una segunda fase se procede a la configuración del programa ASPEN-HYSYS para generar el entorno virtual, centrándose las acciones a realizar en tres grandes bloques: selección de compuestos, selección del paquete de fluidos y generación del diagrama de flujo del proceso con el pre-diseño de equipos y definición de las condiciones de operación.

Para la selección de los compuestos presentes en la simulación se dispone de una amplia base de datos en el programa informático que incluye desde compuestos orgánicos pasado por compuestos electrolíticos y sólidos. El estudiante tendrá que seleccionar dos componentes: el agua y el cloruro sódico.

Una vez se haya especificado los componentes presentes en la simulación, se procede a configurar el Fluids Package. Este Fluids Package se utiliza para calcular las propiedades de los fluidos y las propiedades termodinámicas de los componentes y mezclas en la simulación (por ejemplo, la densidad, entalpía, etc.). Esta es la decisión más importante que tiene que tomar el estudiante ya que la elección de un modelo u otro puede conducir a diferencias notables en el resultado de la simulación. La elección del paquete termodinámico es una tarea de vital importancia para llevar a cabo una correcta simulación. El estudiante tendrá que relacionar el paquete o paquetes más idóneo a partir del algoritmo de decisión para tal fin o a través de la herramienta Method Assistant disponible en ASPEN-HYSYS. Como conclusión el estudiante deberá concluir que paquete es más idóneo: UNIFAC para la corriente de alimentación y el paquete ASME Steam para la corriente de vapor empleada con medio de calefacción.

Posteriormente se desarrolla en el entorno de simulación (esquema de proceso, integración de las corrientes de materia y energía y de equipos) para simular cada caso práctico. El programa informático dispone de una galería de operaciones básicas ya predefinidas, seleccionable de forma gráfica a través de Object Palette. En ella se comprueba que la evaporación requiere una configuración distinta que no está definida como tal en el Object Palette, por lo que el estudiante tendrá que configurar dicha operación básica a través del conocimiento de la misma. Para ello, tendrá que configurar un evaporador flash como unidad de evaporación y un intercambiador de calor externo como fuente de calor del sistema. En la figura 4 se muestra el un esquema del proceso.

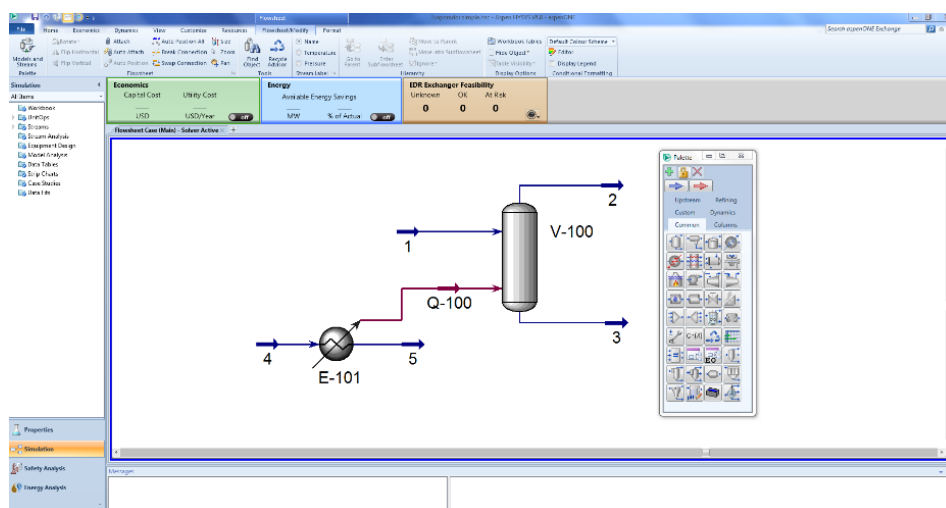


Figura 4. Ejemplo en Hysys, de un diagrama de proceso para un evaporador de simple efecto.

En esta fase el estudiante comprobará las consecuencias de la toma de decisiones sobre el modelo propuesto y examinará las posibles configuraciones del sistema.

Por último, Hysys puede emplearse como herramienta de diseño, probando varias configuraciones del sistema para optimizarlo, teniendo en cuenta que los resultados de una simulación se deben comprobar críticamente. Igualmente hay que tener en cuenta que los resultados dependen de la calidad de datos de entrada y la fuente de la misma.

1. RESULTADOS

El entorno de simulación ha sido evaluado por los docentes para cada caso propuesto. En base a la metodología, en la figura 5 se muestra el resultado del entorno de simulación que el estudiante tendrá que diseñar.

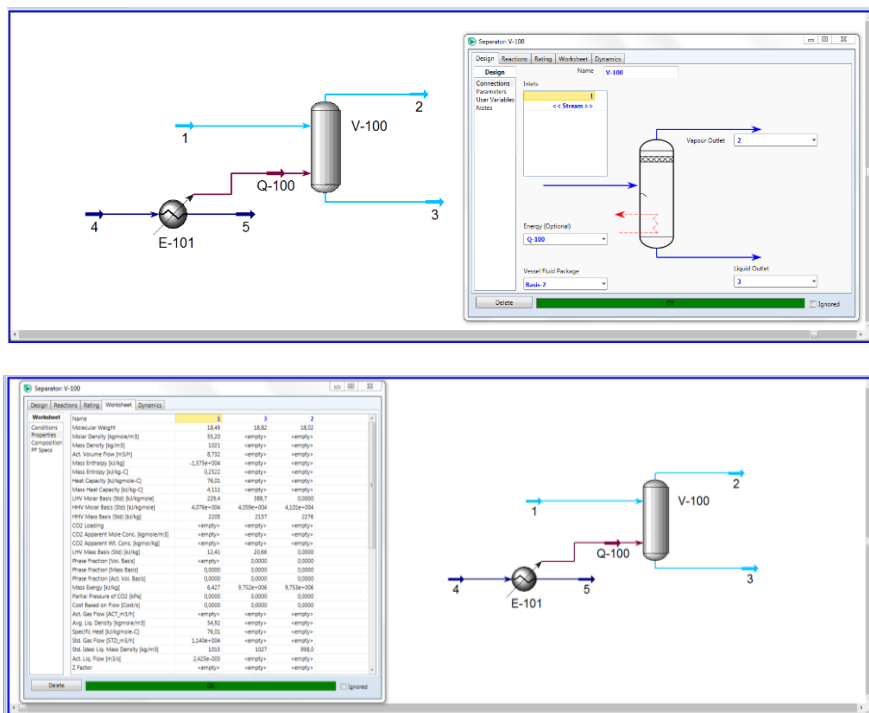


Figura 5. Entorno de simulación para un evaporador de simple efecto.

Con el fin de validar el entorno de simulación en la tabla 1 se resume la comprobación de los datos del simulador con los datos del sistema teórico.

Tabla 1. Comparativa de resultados

	Usando ASPEN-HYSYS			Metodología tradicional		
	Corriente 1	Corriente 2	Corriente 3	Corriente 1	Corriente 2	Corriente 3
Temperatura (°C)	21	56,77	56,77	21	70	60
Composiciones	NaCl: 0,0370 H ₂ O: 0,9630	H ₂ O:1	NaCl: 0,0618 H ₂ O: 0,9382	NaCl: 0,0370 H ₂ O: 0,9630	NaCl: 0,005 H ₂ O: 0,995	NaCl: 0,0616 H ₂ O: 0,9384
Flujos (kg/h)	9000	3613	5387	9000	3600	5400

Las diferencias de los valores simulados respecto los flujos y las composiciones son del 0,3%. Los resultados teóricos de las simulaciones difieren de las medidas teóricas principalmente debido a las aproximaciones cometidas durante la resolución manual, entre ellas la suposición de las temperaturas del destilado además de las propias de la elección del correcto Fluid Package.

Entre las principales ventajas que nos brinda el programa, se puede encontrar:

- Es un proceso relativamente eficiente y flexible ya que permite examinar varias configuraciones de una planta (aprendizaje por descubrimiento).
- La simulación disminuye el tiempo de diseño de una planta.
- Permite mejorar el diseño
- Determina las condiciones óptimas del proceso

Sin embargo, la información que nos aporta el programa debe ser analizada en detalle, ya que los resultados dependen de la calidad de los datos que ingresemos en el mismo, sobre todo la relacionada con el Fluid Package.

2. CONCLUSIONES

El entorno de simulación empleado en el diseño de sistemas térmicos usados en la desalación de agua de mar, mediante el programa de simulación ASPEN-HYSYS, es altamente interactivo y representa un estímulo para el aprendizaje activo del estudiante y del desarrollo de competencias de gran importancia industrial y profesional.

El uso del entorno de simulación permite aplicar el método basado en escenarios donde el estudiante toma un papel activo en su proceso de aprendizaje, decidiendo qué hacer y analizando las consecuencias de sus decisiones sobre las variaciones en el modelo propuesto.

Mediante la simulación se ha logrado el estudio de los procesos MSF y MED, con un evaporador simple, como punto de partida de la evaporación multietapa y multiefecto.

REFERENCIAS

- [1] AspenTech®. <http://www.aspentech.com/products/aspene-engineering/> (30 octubre 2016)
- [2] Centro de Investigación de Recursos y Consumos Energéticos. CIRCE – Universidad de Zaragoza. Informe “Desalación como alternativa al Plan Hidrológico Nacional (PHN) de España”. 2001. <http://www.uv.es/choliz/Desalacion.pdf> (28 September 2016).
- [3] CNA (Comisión Nacional de Energía Atómica). Ramillo, L.B., Gómez de Soler, S.M., Coprari N.R, Tecnologías de proceso para desalinización de aguas. http://www2.cnea.gov.ar/pdfs/revista_cnea/9/desalinizacion_de_aguas.pdf (28 September 2016).
- [4] Aspen Plus vs Aspen HYSYS vs Chemcad. Ingeniería química. http://www.ingenieriaquimica.org/foros/aspen_plus_vs_aspen_hysys_vs_chemcad_0 (30 octubre 2016)
- [5] Santana Rodríguez, J.J., y Mena González, V. Manual docente de introducción a ASPEN-HYSYS. Servicio de Publicaciones de la ULPGC (2016).