

Experiencia didáctica: uso del software Aspen Plus® para determinar el volumen de un reactor tubular

Rolando Barrera Zapata

Universidad de Antioquia, Medellín – Colombia
rolando.barrera@udea.edu.co

Resumen— Se describe la experiencia y reflexión pedagógica derivada del uso del software Aspen Plus® para solucionar un problema académico relacionado con la ingeniería de las reacciones químicas, dentro del contexto de un curso del programa Ingeniería Química de la Universidad de Antioquia. Se describe el contexto de la experiencia, se detallan diferentes estrategias de solución para el problema, se analizan aspectos a destacar observados en los estudiantes mientras intentan solucionar el problema y se concluye con la reflexión sobre la experiencia pedagógica, resaltando algunos elementos que pueden ser importantes al usar el software como herramienta pedagógica en este u otros cursos de pregrado. Como valor agregado, se detalla el paso a paso para el uso de herramientas de análisis en el software (análisis de sensibilidad), que eventualmente puede ser utilizado como material de consulta o referencia por estudiantes con conocimientos básicos en cuanto al uso técnico del software.

Palabras claves— Análisis de sensibilidad; Educación en ingeniería; Estrategia didáctica; Simulación de reactores, Uso de herramientas de simulación en el aula.

Recibido: 23 de septiembre de 2025. Revisado: 27 de octubre de 2025.
Aceptado: 28 de febrero de 2026.

Educational experience: using Aspen Plus® software to determine the volume of a tubular reactor

Abstract— This article describes the experience and pedagogical reflection derived from the use of Aspen Plus® software to solve an academic problem related to Chemical Reaction Engineering, in the context of a course in the Chemical Engineering program at the University of Antioquia. The context of the experience is described, different solution strategies for the problem are detailed, the salient aspects observed by students when trying to solve it are analyzed. The article concludes with a reflection on the pedagogical experience, highlighting some elements that may be important when using the software as a pedagogical tool in this or other undergraduate courses. As an added value to the contribution, a step-by-step guide for the use of the software's analysis tools (sensitivity analysis) is provided, which can be used as reference material by students with basic knowledge of the technical use of the software.

Key words— Sensitivity analysis; Engineering education; Teaching strategy; Reactor simulation; Using simulation tools in the classroom.

1 Introducción

El uso de herramientas para el modelado y la simulación de procesos en programas como la ingeniería química y afines continúa evolucionando de la mano del avance y desarrollo de la informática, donde la combinación de métodos numéricos y computadoras digitales permiten el desarrollo de herramientas computacionales cada vez más eficientes para la resolución de las ecuaciones que describen los sistemas de operación y los fenómenos fisicoquímicos asociados. Como consecuencia, la comunidad académica cuenta con interesantes y completos

simuladores (algunos comerciales y otros de libre acceso) que compilan gran variedad de algoritmos, métodos numéricos y bases de datos, para resolver modelos de operaciones unitarias aisladas o casi cualquier proceso en general a través de la simulación secuencial u orientada de los diferentes módulos que lo conforman [1].

El software Aspen (de sus siglas en inglés *Advanced System for Process Engineering*), se encuentra posicionado a nivel global como uno de los más completos simuladores comerciales para la industria y la academia. Incluye decenas de aplicaciones para el modelado y simulación de procesos químicos generales o específicos, en estado estacionario o por lotes; control de procesos; intercambio de calor; comparación técnica, económica, energética e incluso ambiental para diferentes escenarios de producción o diferentes tipos de procesos, así como la estimación y análisis de propiedades fisicoquímicas y termodinámicas de sustancias puras y mezclas, entre otros. Su eje central, el programa Aspen Plus®, incluye una amigable interfaz que guía al usuario durante la selección e implementación de modelos, combinado con decenas de bases de datos, algoritmos definidos para casi todos los modelos termodinámicos conocidos y subrutinas para la simulación de casi cualquier operación unitaria, además de permitir la incorporación de nuevos modelos y algoritmos definidos por el usuario, tornándose versátil para múltiples tipos de simulaciones, con diferente nivel de detalle, según los objetivos de la misma simulación [2], [3].

En Colombia (y en general en toda Latinoamérica) la mayoría de las universidades incorporan el uso de Aspen Plus® como herramienta académica desde tempranos cursos de los programas de Ingeniería Química, Ingeniería de Procesos y otros programas afines, con lo que ofrecen a sus estudiantes e investigadores importantes elementos de competitividad para el futuro ejercicio de su profesión. Esto, junto con la necesidad de prácticas docentes que promuevan una mejor apropiación del saber por el estudiantado, mediante estrategias eficientes para el desarrollo tanto de conocimientos teóricos como habilidades prácticas necesarias para el ejercicio profesional [4], marca una pauta importante en las tendencias actuales de la educación y la modernización de estrategias de enseñanza-aprendizaje, siendo cada vez más común el uso de herramientas de computación en el aula para apoyar e incentivar procesos de aprendizaje [5] – [11].



Por otro lado, en cuanto a la teoría y los conceptos generales sobre el modelado y simulación de procesos, entre la literatura abierta y disponible en internet, artículos especializados en revistas de divulgación científica y textos académicos, se encuentra abundante información con diferentes niveles de profundidad; sin embargo, la información precisa relacionada con el uso específico del software Aspen Plus® para el modelado de un proceso o equipo determinado suele ser limitada, ya sea por las restricciones propias de las licencias del software, por la generalidad típica que manejan los diferentes manuales o tutoriales disponibles, o porque la confidencialidad intrínseca al proceso o a la planta no permite su divulgación. En cualquier caso, no siempre es posible para un estudiante acceder a manuales o tutoriales que le indiquen paso a paso cómo desarrollar o implementar aplicaciones específicas en paquetes especializados de simulación de procesos como Aspen Plus® [1], [8]. Debido a esto, es común observar en el aula situaciones donde el uso del software se centra en aspectos técnicos, en cuanto a la definición de un modelo y su posterior implementación, desaprovechando la oportunidad de su uso razonable para el desarrollo de habilidades que fomenten un aprendizaje activo, colaborativo y significativo [4]. De este modo, aunque los propósitos de formación de los programas académicos puedan resaltar la importancia del desarrollo de competencias para analizar e interpretar resultados, más que la habilidad para desarrollar los cálculos (tarea que cada día se ve más sustituida por el uso razonable de computadoras y herramientas computacionales [12]), es común encontrar situaciones donde los estudiantes, al enfrentarse al software, se enfocan en los detalles de su uso y pierden de vista o relegan a un segundo plano el propósito del uso del mismo, ignorando en ocasiones un análisis crítico de sus resultados para verificar que las respuestas obtenidas a partir de la simulación son lógicas o coherentes en el contexto del problema planteado. También es común encontrar estudiantes que desconocen herramientas específicas del software y terminan haciendo un uso ineficiente del mismo, más allá que dediquen o no tiempo para analizar o interpretar sus resultados.

En esta contribución se describe la experiencia y reflexión pedagógica derivada del uso del software Aspen Plus® para dar solución a un problema académico relacionado con la Ingeniería de las reacciones químicas [13], dentro del contexto del curso electivo de profundización “Herramientas Computacionales para la Simulación de Procesos en Ingeniería Química” del programa Ingeniería Química de la Universidad de Antioquia. Se describe el contexto de la experiencia, se detallan diferentes estrategias de solución para el problema, se analizan aspectos a destacar observados en los estudiantes mientras intentan solucionar el problema y se concluye con la reflexión sobre la experiencia pedagógica, resaltando algunos elementos que pueden ser importantes al usar el software como herramienta pedagógica en este u otros cursos de pregrado. Como valor agregado a la contribución, se detalla en un anexo el paso a paso para el uso de herramientas de análisis en el software (especificaciones de diseño y análisis de sensibilidad), que eventualmente puede ser utilizado como material de consulta o referencia por estudiantes con conocimientos básicos en cuanto al uso técnico del software.

2 Contexto de la experiencia

En el curso electivo “Herramientas Computacionales para la Simulación de Procesos en Ingeniería Química”, del programa Ingeniería Química de la Universidad de Antioquia se aborda el uso básico del software Aspen Plus®. Los propósitos de formación pretenden que al finalizar el curso los estudiantes estén en capacidad de i) utilizar en un nivel básico el software, combinando su uso razonable con el análisis crítico de resultados, para tareas comunes en la ingeniería química; ii) estimar con ayuda del software propiedades fisicoquímicas y termodinámicas de sustancias puras y mezclas; iii) identificar los atributos y limitaciones del software para modelar y simular equipos como reactores, torres de destilación e intercambiadores de calor. Para ello, en la primera parte del curso se presentan generalidades del software y elementos básicos del modelado y simulación de procesos, en la segunda parte se ilustran algunas estrategias para la estimación de propiedades de sustancias puras y mezclas, en la tercera parte se estudia la simulación de equipos característicos en ingeniería química (torres de destilación, reactores, intercambiadores de calor, etc.) y en la última parte se ilustra el uso del software para la simulación de procesos especiales (electrolitos, sólidos, polímeros, entre otros) y procesos robustos que incluyen más de una operación unitaria (con o sin recirculaciones) en su estructuración.

En una cohorte típica en el curso participan entre 15 y 20 estudiantes que, dada la naturaleza “electiva” del curso, pueden pertenecer a diferentes niveles de avance en el programa académico, el cual requiere 10 niveles o semestres para completar el plan de estudios. Cada estudiante tiene acceso a un equipo de cómputo con el software, cuyos costos de licencia son cubiertos por la Universidad. Las estrategias de enseñanza-aprendizaje incluyen actividades de lecto-escritura, resolución de problemas, preguntas orientadoras y aprendizaje colaborativo. Para las sesiones de clase los estudiantes cuentan con material dispuesto en un texto guía [1] y complementos suministrados por el docente que incluyen guías de estudio, referencias bibliográficas, material de apoyo y otros recursos para acceder clase a clase a la información teórica, principios, fundamentos, demostraciones, guías (para el uso de software) y demás, relacionados con cada uno de los temas según el contenido del curso. Dado que en el curso participan estudiantes de diferentes semestres o niveles de desarrollo, los recursos didácticos utilizados en clase propenden por abarcar conceptos comunes y generalizados que permitan su uso y asimilación por todos los estudiantes. Adicionalmente, el docente presta especial atención en el acompañamiento y, cuando es necesario, la explicación detallada de conceptos para los estudiantes de niveles inferiores que toman el curso electivo.

Para esta experiencia se utilizó una ventana de observación con 6 cohortes del curso entre los años 2020 y 2023, donde participaron un total de 90 estudiantes. De estos, alrededor del 5 % (4 estudiantes) tomaron el curso durante el 6° nivel de su carrera, el 80 % (72 estudiantes) lo tomaron entre el 7° y 8° nivel y el resto (14 estudiantes) durante el 9° o 10° nivel.

Como caso de estudio, para esta contribución se eligió un problema de diseño de reactores tomado del libro Elementos de

Ingeniería de las Reacciones Químicas [13] y adaptado para los propósitos de esta contribución. El enunciado (adaptado) del problema es el siguiente: Determine el volumen de un reactor tubular necesario para producir 300 millones de libras de etileno anuales a partir del craqueo de etano según la reacción: $C_2H_6(g) \rightarrow C_2H_4(g) + H_2(g)$, sabiendo que: i) la reacción es irreversible y elemental; ii) el reactor opera bajo condiciones isotérmicas a 1100 grados Kelvin (K) y 6 atm de presión; iii) el flujo másico inicial de etano (puro) es 20 000 kg/h; iv) los parámetros cinéticos conocidos para la reacción son: factor pre-exponencial (Arrhenius) k : $0,072 \text{ h}^{-1}$ (para 1000 K) y energía de activación EA: 82 kcal/mol.

La experiencia consistió entonces, en la observación y registro, por parte del docente, de las estrategias de solución adoptadas por los estudiantes, las respuestas a las cuales llegaron y las preguntas y discusiones que se suscitaron alrededor de la solución del ejercicio.

3 Descripción de la experiencia: solución del problema utilizando Aspen Plus®

Se espera que un estudiante con conocimientos básicos del software, obtenidos incluso de forma autodidacta, esté en capacidad de identificar el diagrama de la Fig. 1 como los pasos o etapas para desarrollar la simulación. En el curso, los elementos del diagrama se abordan durante las primeras sesiones de clase, mientras que el ejercicio en cuestión se presenta después de un avance de más del 50% del curso, es decir, los estudiantes ya cuentan con los conocimientos básicos para el uso del software.

De acuerdo con la Fig. 1, los pasos 1 a 3 se llevan a cabo desde el ambiente de propiedades del software y sirven como base para estructurar el modelo en el ambiente de simulación (pasos 4 a 9) o para ejecutar análisis de propiedades de sustancias puras o mezclas, independiente que se desee o no simular un proceso desde el ambiente de simulación. Cada etapa puede contener variedad de opciones cuya elección dependerá del objetivo o propósito de la simulación (paso 0), pues este determina el nivel de detalle o profundización y es clave para la toma de decisiones durante la implementación del modelo. En ese orden de ideas, el paso 1) puede ser una nueva simulación en blanco, una plantilla o una archivo preexistente; en el paso 2) existen diversas formas de cargar las sustancias desde las bases de datos que incluye el software o definir nuevas sustancias; el paso 3) ofrece decenas de opciones para los cálculos termodinámicos y la estimación de propiedades (como ecuaciones de estado para gases o modelos de coeficientes de actividad para líquidos), dependiendo de la naturaleza del proceso a simular; el paso 4) puede implementarse de diversas maneras, incluyendo una a una las operaciones unitarias (con variadas opciones para cada equipo o proceso a simular) o implementando simultáneamente la totalidad del proceso; en cualquier caso, interconectando con corrientes de materia (y/o energía) cada etapa del proceso a simular. Los pasos 5) y 6) se rigen por la naturaleza modular secuencial del simulador, donde a partir de las entradas, los algoritmos resuelven paso a paso la secuencia del proceso de acuerdo con el diagrama de flujo, por lo que las corrientes intermedias o de salida corresponden a los

resultados de la ejecución de subprogramas y algoritmos predefinidos según las especificaciones en la simulación y no a entradas suministradas por el usuario.

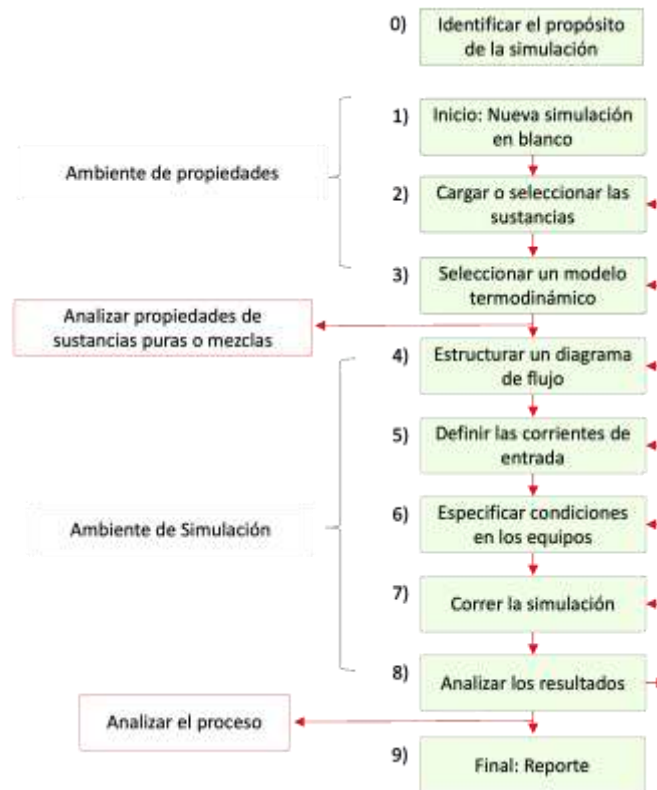


Figura 1. Pasos básicos para realizar una simulación en Aspen Plus®.
Fuente: autor.

Una vez analizados los resultados (paso 8), es fácil retomar algún (os) paso (s) anterior (es) para ajustar el modelo, corregir imprecisiones, solucionar divergencias o buscar condiciones de entrada que satisfagan criterios o condiciones finales deseadas o buscadas.

Como actividad de discusión en clase, se pidió a los estudiantes identificar (y discutir) sus opciones de preferencia para surtir cada una de las etapas desde la 0 hasta la 9 (Fig. 1) e intentar argumentar el porqué de su elección. La estrategia utilizada para la experiencia consistió en invitar a los estudiantes a realizar sus preguntas en voz alta, para toda la clase, y escuchar las ideas, respuestas o sugerencias que expresan los compañeros para intentar resolverlas. El docente tomó un rol de moderador y utilizó preguntas orientadoras, ejemplos o breves repasos teóricos para ayudar a que los mismos estudiantes encontraran las respuestas y propusieran e implementaran su estrategia de solución. Si bien en las primeras etapas del ejercicio se manifestaron pocas preguntas y en general de manera tímida, con el transcurso de la actividad se hicieron cada vez más amplias las preguntas, más comunes las comparaciones entre las dificultades y soluciones de los estudiantes y más vívidas las discusiones sobre la forma de utilizar el software e interpretar sus resultados. Con esta estrategia se promueve, entre otros, el aprendizaje colaborativo y la comunicación entre pares.

Para la etapa 0 (Fig. 1), las respuestas fueron variadas, yendo desde la simple formulación de la necesidad de simular un reactor tubular a partir de datos conocidos (típico de estudiantes de niveles 6 y 7 de la carrera), hasta un análisis completo y depurado de los datos suministrados en el problema para identificar todas las entradas o datos requeridos en el simulador (común en estudiantes de último nivel de la carrera), en donde a partir de información como “la reacción es irreversible y de primer orden”, pudieron concluir que el sistema de reacción no incluye equilibrios químicos y que la cinética que describe la reacción obedece una ley de potencia (homogénea) de primer orden respecto al reactivo etileno, ecu. (1), lo cual representa un dato necesario para desarrollar la simulación en el software Aspen Plus®.

$$-r_{C_2H_6} = k e^{-\frac{EA}{RT}} [C_2H_6]^1 \quad (1)$$

Con $-r$ velocidad de reacción respecto al etileno, k factor pre-exponencial, EA energía de activación, R constante universal, T temperatura absoluta.

Durante la ventana de observación de la experiencia, solo dos estudiantes (ambos de último semestre) discutieron o mencionaron la necesidad de hacer una corrección por temperatura a los datos de la cinética de la reacción dados en el enunciado, ya que la reacción se da a 1100 K y los datos cinéticos disponibles son para 1000 K, desconociendo que con la adecuada especificación del problema el simulador realiza tales cálculos por defecto. Los demás estudiantes, además de ignorar ese atributo del software, desconocieron, obviaron u olvidaron ese importante detalle teórico al intentar resolver el problema.

Para la etapa 1 (Fig. 1), la totalidad de los estudiantes sugirió usar una simulación nueva en blanco. El principal argumento en contra de utilizar plantillas predefinidas fue la falta de conocimiento sobre los atributos o algoritmos que por defecto se cargarían en la simulación.

En la etapa 2 (Fig. 1), resultó común que los estudiantes menos experimentados utilizaran las herramientas de búsqueda de sustancias que dispone el software, mientras que aquellos estudiantes con un mayor nivel de confianza para el uso del software utilizaron los nombres de las sustancias o su respectivo número CAS para cargarlas directamente al simulador y luego renombrarlas de acuerdo con el enunciado del ejercicio. El pantallazo “típico” una vez completada esta etapa se muestra en la Fig. 2.

Aunque poco común, se observaron casos aislados donde los estudiantes cargaron sustancias erradas (por ejemplo, etanol en lugar de etano) y solo lo descubrieron cuando en los pasos 7 y 8 (Fig. 1), al correr la simulación, el software devolvió mensajes de error por la imposibilidad de cerrar balances de materia en el reactor.

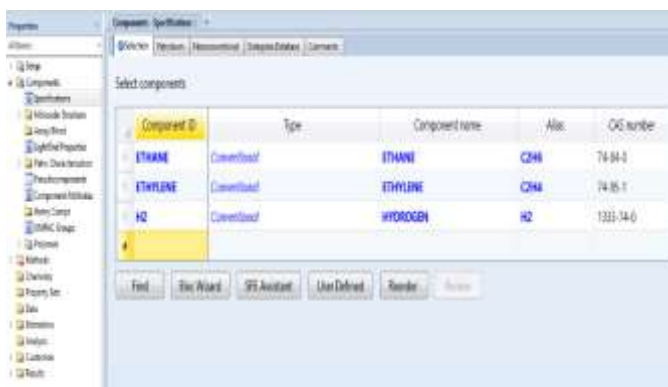


Figura 2. Selección de las sustancias para la solución del ejercicio.
Fuente: autor.

La etapa 3, de manera general en todas las cohortes, se prestó para interesantes discusiones y reflexiones sobre la elección del modelo termodinámico adecuado, aun cuando es un tema que se aborda y repasa previamente en la segunda parte del curso con la estimación de propiedades de sustancias puras y mezclas. Para esta experiencia, se observó que 53 estudiantes (alrededor del 60 %) surgieron modelos de coeficientes de actividad o contribución de grupos como NRTL o UNIQUAC, solo porque recordaron de sus cursos de termodinámica que eran modelos “comunes”, “más exactos” o simplemente eran los “más utilizados”. El resto sugirió utilizar ecuaciones de estado como PENG-ROBINSON o RKS, pero en su mayoría por las mismas razones. Solo 4 estudiantes (un 11% de los estudiantes que sugirieron usar una ecuación de estado), argumentó su elección en que el enunciado del ejercicio permite asumir que no hay equilibrios entre líquidos (L-L) ni equilibrios entre líquidos y vapores (L-V), para la reacción y/o siguiendo las ayudas que incluye el software para la selección de modelos termodinámicos.

Para continuar con el desarrollo del ejercicio, se sugirió a los estudiantes usar el modelo SYSOP0 (modelo que combina la ley de gas ideal con una corrección por presión), Fig. 3, pidiéndoles además que consultaran en las ayudas del software la naturaleza y aplicaciones para esta ecuación de estado, motivándoles a buscar o consultar alternativas diferentes al uso de los modelos “más comunes” sin un argumento teórico, técnico o académico. Durante la ventana de observación de la experiencia, solo un estudiante, una vez finalizado y resuelto el ejercicio, volvió a correrlo varias veces modificando el modelo termodinámico para corroborar si había diferencias significativas en los resultados al utilizar diferentes modelos de entre los más “comunes”, concluyendo que (para este caso), dadas las sustancias y las condiciones de operación, incluso el modelo de gas ideal permite llegar a resultados bastante similares.

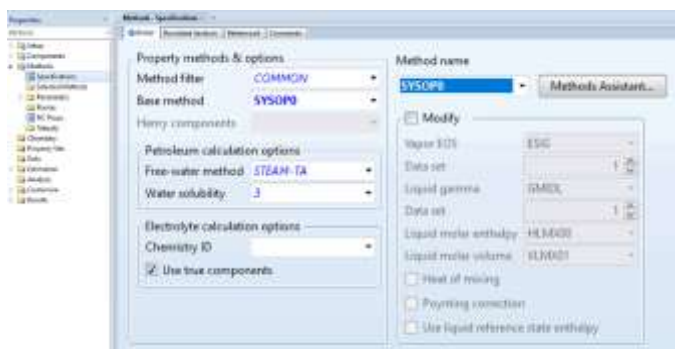


Figura 3. Selección del modelo termodinámico.

Fuente: autor.

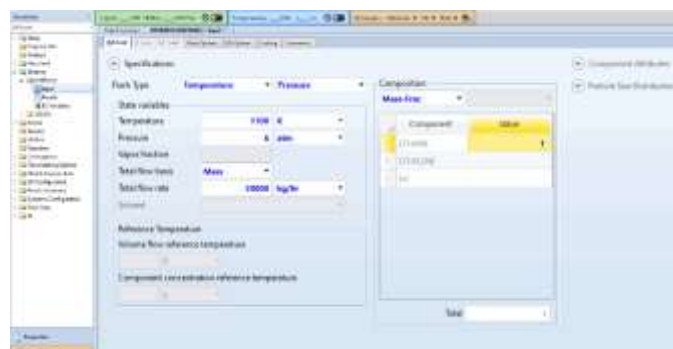


Figura 5. Definición o especificación de la corriente de entrada de acuerdo con el enunciado del problema

Fuente: autor.

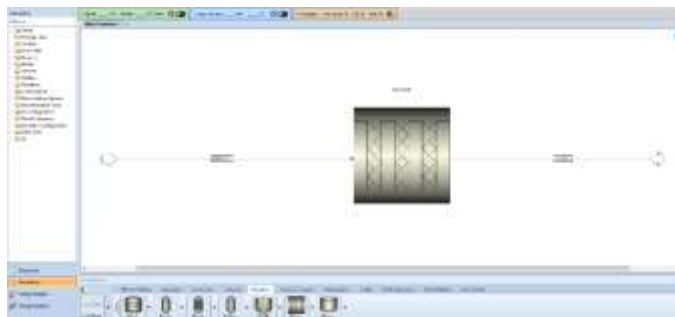


Figura 4. Diagrama de flujo

Fuente: autor.

Para la implementación del diagrama de flujo (paso 4 de la Fig. 1), no se observaron dificultades ya que el enunciado sugiere el uso de un reactor tubular. El diagrama típico se muestra en la Fig. 4. De manera similar, el paso 5 (Fig. 1) para definir o especificar la corriente de entrada (Fig. 5) contiene toda la información requerida en el enunciado del problema.

Para la implementación de la etapa o paso 6 (Fig. 1), es decir, para especificar y configurar el reactor y para ingresar los datos conocidos de la reacción y su cinética, comenzaron a aparecer dificultades y algunas confusiones entre los estudiantes. Una de las primeras dificultades para los estudiantes con conocimientos básicos en el uso del software radica en que el volumen del reactor (longitud y diámetro) es una de las entradas requeridas para la simulación de reactores tubulares. Es decir, la información requerida (longitud y diámetro del reactor) para obtener la respuesta del ejercicio (volumen del reactor) debe suministrarse como un input obligatorio al programa para poder correr la simulación.

Dependiendo de su capacidad de abstracción y análisis, algunos estudiantes plantearon una estrategia de solución cíclica usando tanteo y error; esto es, suponer una longitud y un diámetro para usarlos como entrada en el software, correr la simulación y, de acuerdo con los resultados obtenidos, regresar a las especificaciones de longitud y diámetro supuestos para realizar ajustes. Si bien la estrategia funciona y permite alcanzar un resultado para el ejercicio, el tiempo dedicado a veces supera el pronosticado. También se resalta que, al pedirse un volumen de reactor, la combinación de las variables manipuladas (longitud y diámetro) puede ofrecer infinitas soluciones.

En ese orden de ideas, se observó que casi el 50 % de los estudiantes propuso resolver el ejercicio usando tanteo y error, suponiendo un diámetro y una longitud iniciales. Los demás siguieron la estrategia por imitación. Ninguno propuso utilizar herramientas como análisis de sensibilidad o especificaciones de diseño, evidenciando que el desconocimiento de tales herramientas de análisis que dispone el software es generalizado.

Para la solución del ejercicio usando tanteo y error, cerca del 70 % de los estudiantes mantuvieron el diámetro inicial fijo y variaron la longitud hasta llegar a un resultado (volumen de reactor) que consideraron adecuado; el 25 % dejaron fija la longitud y variaron el diámetro y el 5 % restante variaron simultáneamente la longitud y el diámetro, haciendo más difícil llegar a una solución mediante tanteo y error.

Como aspecto interesante (desde el punto de vista de la reflexión pedagógica), se observó que casi el 95 % de los estudiantes, una vez llegaron a su respuesta, quedaron satisfechos con el éxito del uso del software para resolver el ejercicio y no prestaron atención al resultado como tal. De ese modo, las respuestas incluyeron reactores con diámetros del orden de varios metros y longitud de apenas unos pocos centímetros (lo cual geométricamente representa un disco y no una tubería), o reactores de varios metros de longitud (hasta 10 metros o superiores) con diámetros de escasos centímetros (lo cual puede representar diversos problemas técnicos al momento de su operación). Ese tipo de repuestas dependieron del valor inicial asignado a las dimensiones del reactor. Solo 3 estudiantes consideraron (al momento de fijar alguna de las dimensiones) aspectos técnicos como diámetro común (comercial) de tuberías o dimensiones iniciales que pudieran resultar “razonables” según los datos de flujos dados en el enunciado del problema. Los demás, una vez llegaron a un volumen de reactor que permitía cumplir con la producción deseada según el enunciado del ejercicio, quedaron satisfechos con su respuesta, sin considerar aspectos técnicos u operativos para las dimensiones propuestas, esto es, asumiendo que la primera solución a la cual llegaron (cuando lograron resolver el ejercicio) era aceptable.

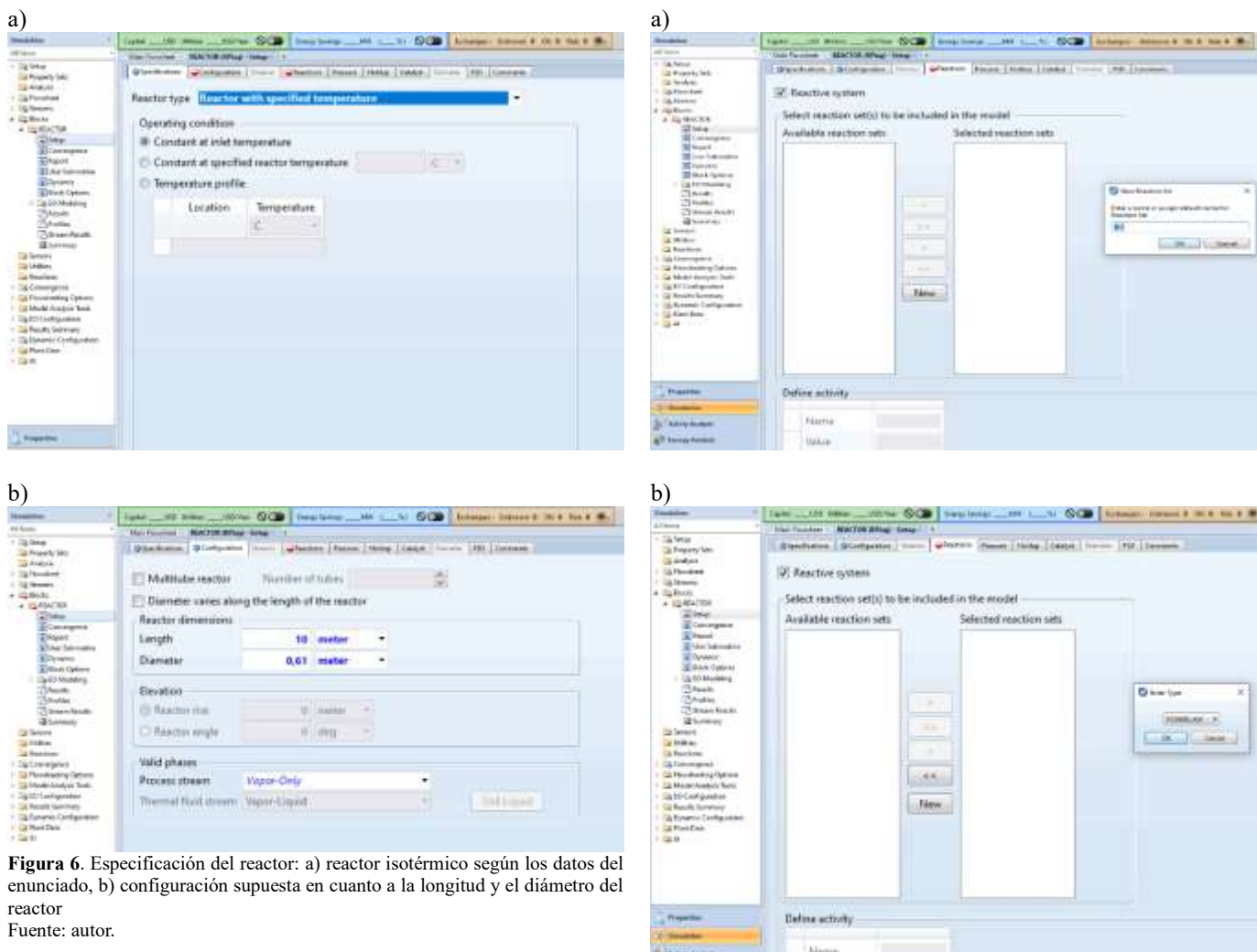


Figura 6. Especificación del reactor: a) reactor isotérmico según los datos del enunciado, b) configuración supuesta en cuanto a la longitud y el diámetro del reactor
Fuente: autor.

En la Fig. 6 se muestran pantallazos típicos para la especificación del reactor, en la Fig. 7 una manera de ingresar al software los datos para la reacción y en la Fig. 8 un pantallazo con algunos resultados del software usando las entradas descritas en las Figuras 2-7.

Se observa que, para las condiciones dadas y las dimensiones supuestas, el software predice la producción de 314,24 millones de libras de etileno anuales (Fig. 8), es decir, el reactor supuesto en la Fig. 6b excede las dimensiones requeridas y, para resolver el ejercicio mediante esta estrategia, sería necesario volver a la especificación del reactor (Fig. 6b) y definir uno nuevo con un diámetro y/o una longitud inferior, volver a correr la simulación y, en caso de obtener nuevamente una producción mayor, repetir el proceso. Si la producción se hace menor a la deseada, especificar valores mayores en la longitud y/o el diámetro y repetir el procedimiento hasta llegar a los 300 millones de libras producidas al año.

d)

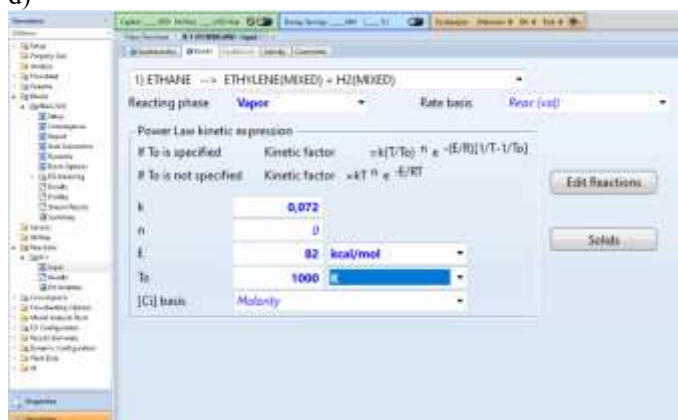


Figura 7. Ejemplo sobre el ingreso de los datos de la reacción al software: a) creación de una nueva reacción, b) selección del tipo de cinética (ley de potencia), c) ingreso de la estequiometría y orden de reacción, d) ingreso de datos cinéticos (según la información del enunciado).

Fuente: autor.

Property	Units	ENTRADA	SALIDA
Mass Solid Fraction	-	0	0
Mass Enthalpy	cal/mol	-1627.21	15150.5
Mass Entropy	cal/mol-E	-54.1146	940.31
Mass Entropy	cal/mol-E	-17.7384	5.07073
Mass Entropy	cal/mol-E	0.591806	0.352145
Mass Density	mol/cc	6.64734e-03	6.64734e-03
Mass Density	g/cm ³	0.30109881	0.00109887
Enthalpy Flow	cal/sec	100637	5.20394e+06
Average MW	-	30.0000	16.0078
Mass Flow	kmol/hr	665.123	1244.74
Mass Fractions	-	-	-
ETHANE	MMBtu/year	386.514	386.514
ETHYLENE	MMBtu/year	386.514	40.0077
H2	MMBtu/year	0	314.246
Volume Flow	l/min	106764	312090

Figura 8. Resultados parciales al correr la simulación con los datos especificados en las Fig. 2-7.

Fuente: autor.

Es de resaltar que, en la Figura 7d, al ingresar el valor 1000 K en el campo T_0 (temperatura de referencia para los datos cinéticos según el enunciado del ejercicio), el software realizará internamente la corrección por temperatura del valor de la energía de activación ingresado en el campo “E” y de esta forma se hacen las estimaciones cinéticas a la temperatura de reacción (1100K) y no a la temperatura de referencia (1000K).

Como detalle adicional que vale la pena destacar durante la experiencia, se encontró que la mayoría de los estudiantes (casi el 80 % de los que resolvieron el problema), reportaron como respuesta la longitud y el diámetro del reactor que permite alcanzar la producción exacta o aproximada a la deseada (300 millones de libras anuales de etileno) y obviaron u olvidaron calcular y reportar el volumen del reactor, como pide el enunciado. La razón aparente para ello es la sensación de éxito que experimentan cuando llegan a la respuesta buscada con ayuda del software: dado que manipulan o tantean diferentes longitudes y/o diámetros, corren cada vez la simulación y verifican si el resultado en cuanto a producción se ajusta al

deseado, se concentran en el uso del simulador y pierden de vista el enunciado del problema, olvidando complementar su respuesta usando los resultados encontrados en el simulador (longitud y diámetro) para calcular el volumen del cilindro que representa un reactor tubular.

Otro aspecto interesante observado durante la experiencia fue que, luego de la retroalimentación, donde se evidenció en variados casos el detalle anteriormente mencionado sobre la poca viabilidad geométrica del reactor dadas algunas dimensiones propuestas (exagerada desproporción entre la longitud y el diámetro del reactor), solo 9 estudiantes volvieron a correr el ejercicio considerando que, para la respuesta, el diseño del reactor debería incluir una relación “razonable” entre la longitud y el diámetro para el tipo de reactor simulado (reactor tubular).

5 Reflexión sobre la experiencia

Más allá de los detalles ya mencionados al describir la experiencia pedagógica, se destaca el hecho de que, al enfrentarse al software, los estudiantes están enfocados en los detalles de su uso y pierden de vista o relegan a un segundo plano el propósito del uso de este, ignorando en ocasiones un análisis crítico de sus resultados para verificar que las respuestas obtenidas a partir de la simulación son lógicas o coherentes en el contexto del problema planteado. Esta falta de análisis críticos o validación (al menos conceptual) de los resultados del software, suele ser más común en los estudiantes de niveles inferiores y en los estudiantes que muestran una menor apropiación o conocimiento del funcionamiento del software. De allí, puede ser una práctica adecuada verificar que los estudiantes que usan la herramienta computacional poseen las competencias y conocimientos mínimos (tanto del software como de los conceptos teóricos relacionados con los fenómenos o procesos a simular) o que al menos cuentan con guías adecuadas para enfrentar la solución a problemas específicos con ayuda del software.

En variados casos, los estudiantes esperan que el uso exitoso del software (con o sin pleno entendimiento de su funcionamiento), supla cualquier vacío conceptual o teórico relacionado con el fenómeno o la operación unitaria que pretenden simular. De allí resulta bastante común que los estudiantes se centren en el uso técnico del software, olvidando que la conceptualización teórica del fenómeno que se modela, el conocimiento técnico de la operación unitaria que se simula y el entendimiento de proceso que se implementa en el software, son tanto o incluso más importantes que el conocimiento y entendimiento del funcionamiento, limitaciones, ventajas y desventajas del software.

El análisis de esta experiencia no permite dar respuesta a preguntas puntuales sobre el comportamiento o razonamiento de los estudiantes frente a situaciones específicas. Por ejemplo, la razón por la cual algunos estudiantes cometen errores al cargar una sustancia específica en el software puede ser poca experiencia con el manejo del software, desconocimiento en temas de nomenclatura química o un simple descuido durante el uso de la herramienta. La causa por la cual asumen que una respuesta es correcta si no se presentan errores en el software

aun cuando carezca de sentido técnico (como las dimensiones propuestas para algunos reactores), puede obedecer a situaciones de desconexión entre teoría y práctica, a algún tipo de sobrecarga cognitiva al pretender aprender o aplicar simultáneamente conceptos teóricos de cinética, elementos de diseño de reactores y manejo de software, o simplemente a una desatención al problema, como probablemente ocurre con los estudiantes que reportan datos de longitud y diámetro en lugar del volumen del reactor (se asume desatención ya que es poco probable que en el nivel de la carrera desconozcan cómo calcular el volumen de un cilindro). Independiente de ello y más allá que esta contribución pretende invitar a la reflexión sobre algunas prácticas en cuanto al uso de herramientas computacionales, el hecho de que una mínima cantidad de estudiantes retomen un ejercicio o un cálculo en particular para verificarlo una vez han tenido acceso a la retroalimentación del mismo (con fines comparativos) o para desarrollarlo correctamente (si detectan algún error en su respuesta y/o razonamiento), invita a cuestionar si los contenidos curriculares efectivamente están llevando a nuestros estudiantes a la adquisición de las competencias técnicas específicas para la formulación y solución de problemas de ingeniería que se declaran en los programas de formación, y más aún, en qué momento de la carrera o del proceso de formación se hace evidente que han logrado tales competencias.

En términos generales, se observa que la experiencia pedagógica coincide con las observaciones de Richmond-Navarro y colaboradores [14], en cuanto a que este tipo de experiencias permite articular la profundización en los conceptos base de ingeniería, el análisis detallado del orden lógico de solución de un problema y la posibilidad de ser implementado ajustando levemente las herramientas tradicionales de enseñanza. No obstante, como apuntan Fernández y colaboradores [9], los simuladores tienen alto potencial como herramienta de apoyo, pero el tiempo requerido para la adaptación de los estudiantes a la experiencia de su uso como tal y la eventual falta de solidez en saberes previos puede llegar a ser un limitante; pese a ello, el uso de la herramienta ayudó a incentivar el interés en el curso y mejoró el desempeño académico del grupo al facilitar la apropiación de las temáticas tratadas [10].

6 Conclusiones

A manera de conclusión, se encuentra que el uso razonable del software representa una herramienta poderosa para ayudar en las labores de análisis y diseño de equipos y procesos, disminuyendo notablemente el tiempo y esfuerzo requerido en cálculos. No obstante, es imperativo que los estudiantes le reconozcan como tal (una herramienta), y aprendan a reconocer no solo sus ventajas sino también sus alcances y limitaciones.

Los estudiantes, al enfrentarse al software, se enfocan en los detalles de su uso y pierden de vista la necesidad de analizar críticamente los resultados, llegando incluso a presentar respuestas que resultan incoherentes en el contexto del problema planteado. También es común encontrar estudiantes que desconocen herramientas específicas del software y

terminan haciendo un uso ineficiente del mismo, más allá que dediquen o no tiempo para analizar o interpretar sus resultados.

Una vez implementada la simulación en el software (Fig. 2-7) e independiente de correr o no la simulación para verificar los resultados, la estrategia de “tanteo y error” para resolver el ejercicio puede suplirse por el uso adecuado de herramientas de análisis que el software dispone para ello. A través de la experiencia se observó que el desconocimiento de herramientas de análisis como análisis de sensibilidad o especificaciones de diseño es generalizado y no se encontró en la literatura fuentes confiables con instrucciones o paso a paso para su implementación. Por tal razón, como anexo a este documento se presenta una guía paso a paso para su implementación en el ejemplo de estudio, descrita de modo general para que pueda ser utilizada como referencia en la implementación de este tipo de análisis en cualquier otra simulación desarrollada en el software.

Referencias

- [1]. R. Barrera, Estimación de propiedades de sustancias puras y mezclas con Aspen Plus®, Medellín, Colombia, Editorial Universidad de Antioquia, 2017
- [2]. R. Barrera, C. Salazar, and J. Pérez, Thermochemical Equilibrium Model of Synthetic Natural Gas Production from Coal Gasification Using Aspen Plus®, *International Journal of Chemical Engineering*, vol. 2014, Article ID 192057, 18 pages <http://dx.doi.org/10.1155/2014/192057>
- [3]. D. Gómez-Ríos, G. Navarro, P. Monsalve, R. Barrera, R. Ríos-Estapa, Aspen Plus Simulation Strategies Applied to the Study of Chitin Bioextraction from Shrimp Waste, *Food Technol. Biotechnol.*, vol. 57, no. 2, pp. 238-248, 2019, <https://doi.org/10.17113/ftb.57.02.19.6003>
- [4]. E. Z. Delgado-Saeteros, B. M. Lema-Cachinell, and A. Lema, Estrategias pedagógicas innovadoras para el desarrollo de aprendizajes significativos en la educación superior, *Prohominum. Revista de Ciencias Sociales y Humanas*, vol. 6, no. 1, pp. 80-88, 2024, <https://doi.org/10.47606/acven/ph0228>
- [5]. D. L. Linero-Segre and D. A. Garzón-Alvarado, Enseñanza del método de los elementos finitos en ingeniería civil y mecánica utilizando el programa de computador a código abierto PEFiCA. *Revista Digital Educación En Ingeniería*, vol. 7, no. 14, pp. 35-46, 2012. <https://doi.org/10.26507/rei.v7n14.242>
- [6]. R. M. Weisz, L. C. Carrere y M. M. Añino, Modelización, simulación y práctica experimental en el ciclo básico de bioingeniería: una propuesta didáctica. *Revista Digital Educación En Ingeniería*, vol. 7, no. 14, pp. 58-70, 2012. <https://doi.org/10.26507/rei.v7n14.246>
- [7]. M. H. Cueva-Portal, J. E. Cañon-Barriga and L. Cea-Gómez, Uso de Iber como herramienta de aprendizaje y análisis de flujos bidimensionales en canales. *Revista Digital Educación En Ingeniería*, vol. 16, no. 31, pp. 72-78, 2021. <https://doi.org/10.26507/rei.v16n31.1126>
- [8]. R. Barrera and Y. Agudelo, Use of advanced simulation software Aspen Plus as teaching tool in chemical reaction engineering. *Revista Digital Educación En Ingeniería*, vol. 10, no. 19, pp. 57-68, 2015. <https://doi.org/10.26507/rei.v10n19.508>
- [9]. C. Fernandez, C. N. Riemersman and M. I. Aguado, Experiencia del uso de software de simulación en la resolución de problemas no estructurados para la formación en competencias de estudiantes de Físicoquímica de la Universidad Nacional del Chaco Austral. *Revista Digital Educación En Ingeniería*, vol. 15, no. 30, pp. 81-85, 2020. <https://doi.org/10.26507/rei.v15n30.1087>
- [10]. D. C. Diaz-Guevara and F. Cala-Vitery, Análisis de videos y modelado de sistemas físicos sencillos como estrategia didáctica. *Revista Digital Educación En Ingeniería*, vol. 9, no. 18, pp. 190-200, 2014. <https://doi.org/10.26507/rei.v9n18.464>
- [11]. A. Baez-Perez and A. J. Soto-Vergel, Enseñanza de sistemas de radiocomunicaciones terrestres con línea de vista mediante software educativo. *Revista Digital Educación En Ingeniería*, vol. 14, no. 28, pp. 78-87, 2019. <https://doi.org/10.26507/rei.v14n28.996>

- [12]. Porcelli A, La Inteligencia Artificial y la Robótica: sus dilemas sociales, éticos y jurídicos. *Derecho Global. Estudios Sobre Derecho Y Justicia*, vol. 6, no. 16, pp. 49–105, 2020, <https://doi.org/10.32870/dgedj.v6i16.286>.
- [13]. S. Fogler, *Elements of Chemical Reaction Engineering*, Third Edition, New Jersey, E.U.A., Prentice-Hall, Inc, 2021.
- [14]. G. Richmond-Navarro, J. L. Guerrero-Fernández, and N. Ureña-Sandí, N. (2019). Método “solución de problemas por objetivos” para la enseñanza de mecánica vectorial en ingeniería, caso de estudio: dinámica, *Revista Digital Educación En Ingeniería*, vol. 14, no. 28, pp. 25–32, 2019. <https://doi.org/10.26507/rei.v14n28.974>

Rolando Barrera es Ingeniero químico de la Universidad de Antioquia (2003). Magister en Ciencias Químicas (2007) y Doctor en Ingeniería (2010) de la misma universidad. Actualmente profesor (escalafón: titular) del Departamento de Ingeniería Química de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Antioquia y coordinador del Grupo de Investigación CERES – Agroindustria & Ingeniería. En docencia el desempeño se centra en las áreas de matemáticas especiales o aplicadas y simulación de procesos, tanto en pregrado como en posgrado. En investigación las áreas de interés se enfocan en el modelado, simulación y optimización de procesos; procesos agroindustriales; extracción y valoración de productos naturales; biorefinerías termoquímicas, catálisis y cinética de las reacciones químicas. Ha sido autor de varios textos universitarios, numerosas publicaciones científicas en revistas indexadas y software de simulación. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8718-9242>

ANEXO

Paso a paso para resolver el ejercicio propuesto usando “Especificaciones de diseño”

Una vez implementada la simulación en el software (Fig. 2-7) e independiente de correr o no la simulación para verificar los resultados, desde la carpeta “flowsheeting options” se selecciona la subcarpeta “Design Specs” y se asigna un nombre o identificador al análisis que se pretende realizar (por defecto DS-1), Fig. 9. En las pestañas que se habilitan (“Define”, “Spec” y “Vary”) se especifican las variables a manipular y las variables analizadas, como muestra la Fig. 10.



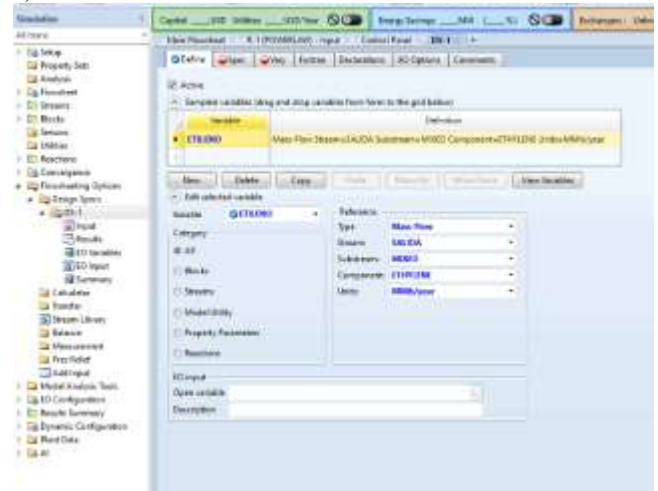
Figura 9. Definición de una especificación de diseño
Fuente: autor.

Inicialmente en la pestaña “Define” (Fig. 10 a) se asigna el nombre a la variable que representará la especificación de diseño buscada, esto es, en el caso del ejemplo, la producción deseada. Para ello, primero se asigna el nombre a la variable (para el ejemplo se llamó “ETILENO”) y posteriormente se da en el software la descripción a la misma: primero se debe elegir el tipo de la variable (en el ejemplo se tomó “mass flow”), luego se especifica la corriente a la cual desea asignarse ese flujo másico (en el ejemplo la corriente llamada SALIDA, según el nombre asignado en la Fig. 4 para la corriente que lleva los productos del reactor), en subcorriente se mantiene el valor “MIXED” (salvo que se trate de una simulación avanzada que incluya otros tipos de subcorrientes con sólidos), luego se especifica la sustancia en particular que desea analizarse (Ethylene, para el ejemplo) y por último se seleccionan las unidades en las cuales se desea correr el análisis. Una vez definida la variable como se muestra en la Fig. 10a, el software reconocerá entonces la variable ETILENO como el flujo másico de la sustancia etileno que va en la corriente SALIDA y lo expresará en unidades de millones de libras anuales.

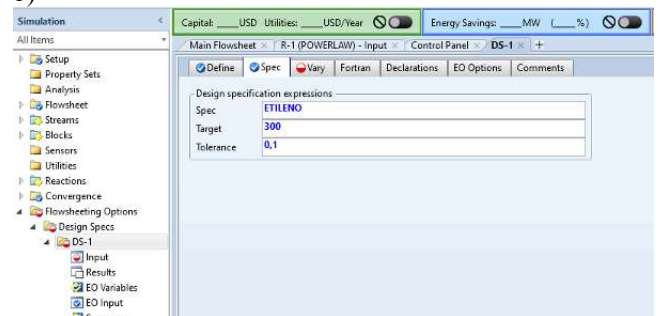
En la pestaña “Spec” (Fig. 10b) se define la especificación. Para ello, en el campo “Spec” se introduce el nombre asignado a la variable que representa el flujo másico de etileno en la corriente de salida (ETILENO), en el campo “Target” se especifica el objetivo buscado (para el ejemplo 300, pues las unidades se especificaron en millones de libras anuales) y en el campo “Tolerance” la tolerancia o el error que se admite en la respuesta (en el ejemplo se usó 0.1, por lo que la respuesta que arroje el software, si llega a alguna,

puede fluctuar entre 299,9 y 300,1 millones de libras de etileno anuales).

a)



b)



c)



Figura 10. Configuración para la especificación de diseño del ejemplo: a) definición de la variable objetivo, b) especificación del objetivo, c) definición de la variable a manipular e intervalo de búsqueda.

Fuente: autor.

Por último, en la pestaña “Vary” (Fig. 10c), se especifica la variable a manipular y el intervalo de búsqueda. En el ejemplo se eligió usar una variable de bloque (“block-var”), se seleccionó el bloque “REACTOR” (según el nombre asignado al reactor en la Fig. 4) y se usó como variable manipulada el diámetro del reactor (DIAM) en unidades de metros, definiendo además el intervalo de búsqueda entre 0,15 y 0,61. Se eligen estos valores ya que, según los resultados mostrados en la Fig. 8, se requiere un reactor de menor volumen al especificado en la Fig. 6b. En caso de no haber corrido aún la simulación, desconocer u obviar tal información, puede asignarse un intervalo de búsqueda

cualquiera, tomando precaución que el intervalo de búsqueda contenga el valor asignado a la variable en la especificación de la simulación, de lo contrario el software devuelve un error informando que el valor semilla para la búsqueda debe estar dentro del intervalo de búsqueda.

De acuerdo con la especificación de diseño ilustrada en la Fig. 10, al correr la simulación el software manipulará “internamente” la variable diámetro del reactor dentro de los valores 0,15 y 0,61 m, de acuerdo con los valores ingresados en la Fig. 10c, evaluando en cada caso el valor del flujo másico de etileno en la corriente de salida en millones de libras año. Si dentro de la tolerancia definida encuentra un valor de 300, reportará entonces el diámetro del reactor que permite alcanzar dicho valor. Si no llega al valor de 300, devolverá un mensaje de error sugiriendo modificar el intervalo de búsqueda.

Los resultados del análisis especificado en la Fig. 10 se muestran en la Fig. 11. Se observa que al asignar a la variable manipulada (diámetro del reactor) un valor de 0,561201 m, la variable analizada (millones de libras de etileno anuales) alcanza un valor de 300,005.

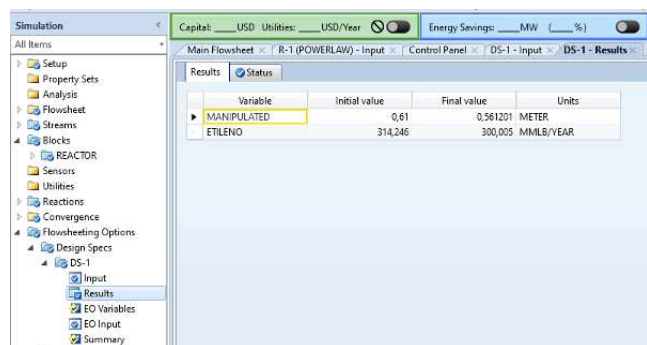


Figura 11. Resultados del análisis de sensibilidad detallado en la Fig. 10. Fuente: autor.

Nótese que para el ejemplo, de manera alternativa, pudo elegirse la longitud del reactor como variable manipulada (Fig. 10c) y mantener fijo el diámetro. Es decir, si se encuentra alguna dificultad técnica en conseguir un diámetro como el requerido, puede fijarse este (en un valor comercial cercano al requerido o en un valor fijo cualquiera) y realizar un análisis similar buscando la longitud exacta que permita cumplir los requerimientos del reactor. Desde el punto de vista técnico, puede ser más sencillo ajustar la longitud del reactor que su diámetro. A manera de ilustración, la Fig. 12 muestra la especificación (Fig. 12a) y los resultados (Fig. 12b) si se mantiene el diámetro fijo en 0,61 y se manipula la longitud del reactor entre 1 y 10 m.

Mientras se tenga la especificación de diseño activa en la simulación, los resultados de las corrientes y los bloques corresponderán a los encontrados en dicho análisis, independiente del valor asignado o especificado en la simulación. Para el ejemplo, si se consultan los resultados de las corrientes (Fig. 13), el flujo de etileno a la salida del reactor es de 300 millones de libras año, aunque el bloque reactor mantiene en su definición los valores de longitud y

diámetro asignados en la Fig. 6b. Ese detalle puede ser importante en casos en que por alguna razón se desactiva o se elimina la especificación de diseño.

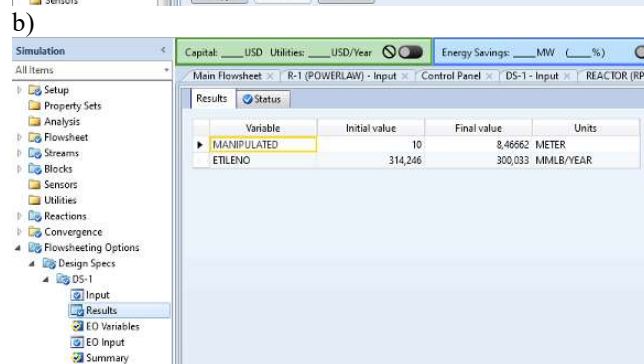
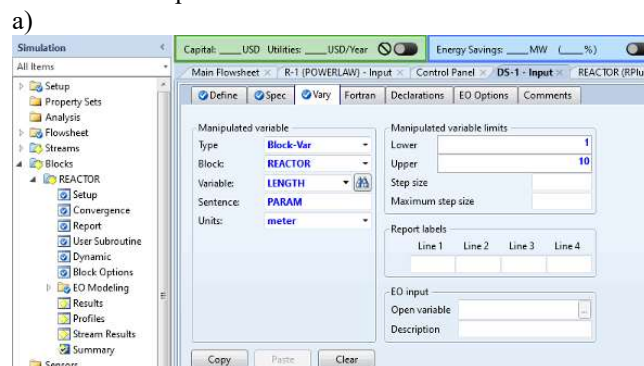


Figura 12. Resultado alternativo si se especifica como variable la longitud en lugar del diámetro del reactor: a) especificación de la variable, b) resultados.

Fuente: autor.

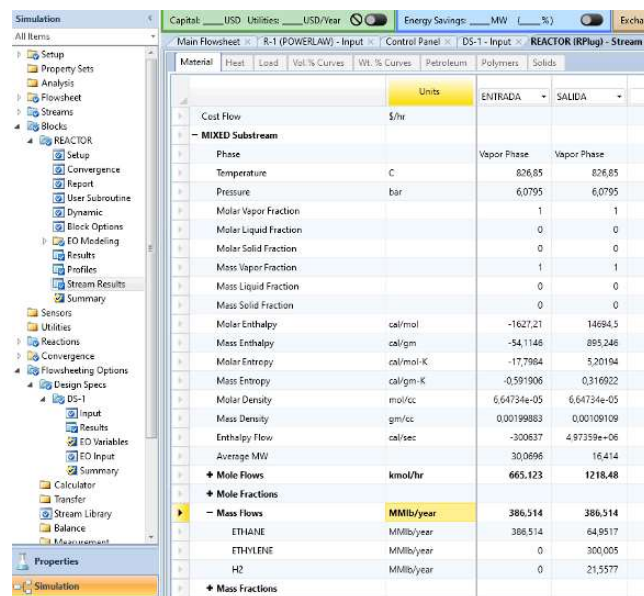


Figura 13. Resultados de la simulación con la especificación de diseño o con la corrección del valor del diámetro en la especificación del reactor. Fuente: autor.

Si se desea mantener los resultados aún eliminando o inactivando el análisis, es necesario volver al bloque reactor (Fig. 6b) e ingresar los valores encontrados en el análisis (para el ejemplo, reemplazar el diámetro 0,61 por el diámetro

0,561201). De este modo, independiente de la especificación de diseño, el resultado de la simulación será el buscado (Fig. 13).

Paso a paso para resolver el ejercicio propuesto usando “Análisis de sensibilidad”.

En el software Aspen Plus®, las herramientas para especificación de diseño (anteriormente descrita) y las herramientas para análisis de sensibilidad son incompatibles entre sí; es decir, si se desea implementar un análisis de sensibilidad en una simulación que contiene especificaciones de diseño, estas deben inhabilitarse o eliminarse previamente. Ocurre igual si se desea implementar una especificación de diseño en una simulación que contiene de antemano un análisis de sensibilidad. Para ello, basta seleccionar en el árbol de navegación la (o las) carpetas que contienen los análisis, editarlas (clic contrario) y seleccionar una de las opciones “hide” o “delete”.

Una vez implementada la simulación en el software (Fig. 2-7) e independiente de correr o no la simulación para verificar los resultados, desde la carpeta “Model Analysis Tools” se selecciona la subcarpeta “Sensitivity” y se asigna un nombre o identificador al análisis que se pretende realizar (por defecto S-1), Fig. 14. En las pestañas que se habilitan (“Vary”, “Define” y “Tabulate”) se especifican las variables a manipular y las variables analizadas, como muestra la Fig. 15.

Inicialmente en la pestaña “Vary” (Fig. 15a) se indica la variable a manipular. Para el caso del ejemplo el diámetro del reactor. El software asigna por defecto el número 1 a la variable. Para especificarla, se seleccionó como tipo de variable una variable de bloque (BLOCK-VAR), se seleccionó el bloque de interés (REACTOR) y como variable se seleccionó su diámetro (DIAM). Las unidades se mantuvieron por defecto en metros. En el ejemplo se usó como punto de partida 0,15 m y como punto final 0,60 m, con una estimación de 7 puntos (Fig. 15a). Es decir, el software evaluará 7 valores diferentes (equidistantes) para el diámetro del reactor, comenzando en 0,15 y finalizando en 0,6 m. Para esas 7 evaluaciones (o las que se especifiquen), es necesario definir qué desea visualizarse o analizarse. Esto se hace en la carpeta “DEFINE”, donde se asigna una variable (para el ejemplo se llamó “ETILENO”) y se especifica como un flujo másico (tipo “MASS-FLOW”) de la corriente SALIDA (Fig. 4), para la sustancia Etileno, expresada en millones de libras anuales (ver Fig. 15b). Por último, en la carpeta TABULATE, se especifica que el reporte (resultado de las 7 evaluaciones especificadas en VARY, muestre el valor de la variable ETILENO (de acuerdo con su especificación en DEFINE, es decir, millones de libras anuales de etileno en la corriente de salida del reactor, en la primera columna del reporte (Fig. 15c).

Una vez se corre el análisis, los resultados se muestran como muestra la Fig. 16. Puede observarse que los 300 millones de libras de etileno anuales se pueden obtener con un diámetro de reactor entre 0,525 y 0,6 m.



Figura 14. Definición de un análisis de sensibilidad.
Fuente: autor.

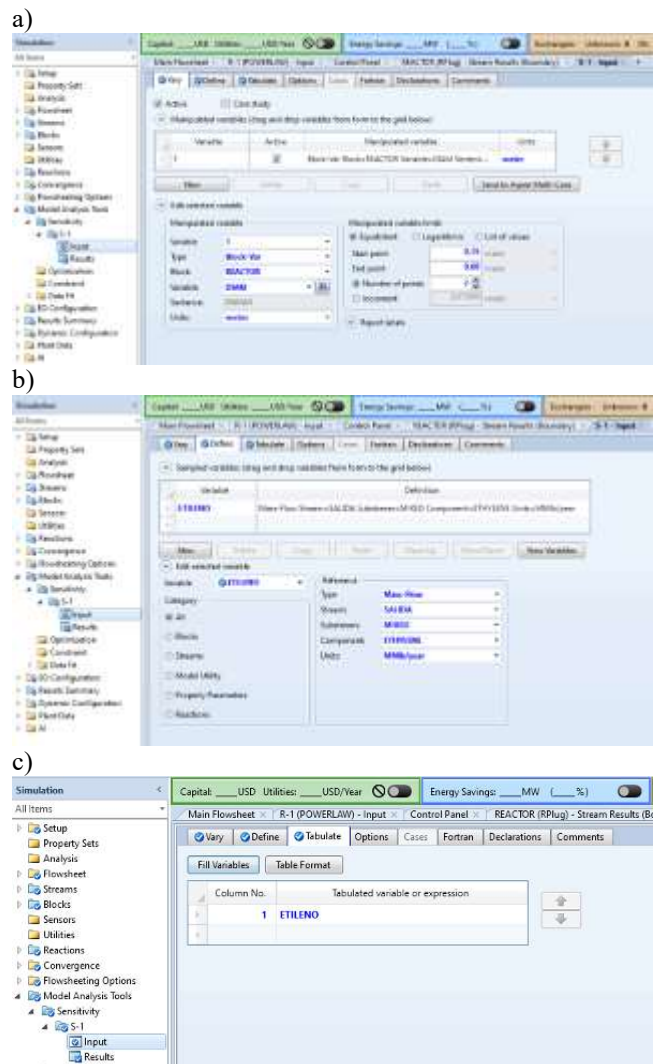


Figura 15. Configuración para el análisis de sensibilidad del ejemplo: a) definición de la variable a manipular, b) especificación del objetivo, c) especificación para la tabulación de resultados.
Fuente: autor.

Si desea obtenerse un resaltado más exacto, puede repetirse el análisis, variando los límites inicialmente definidos por estos nuevos y/o aumentando el número de puntos a evaluar.

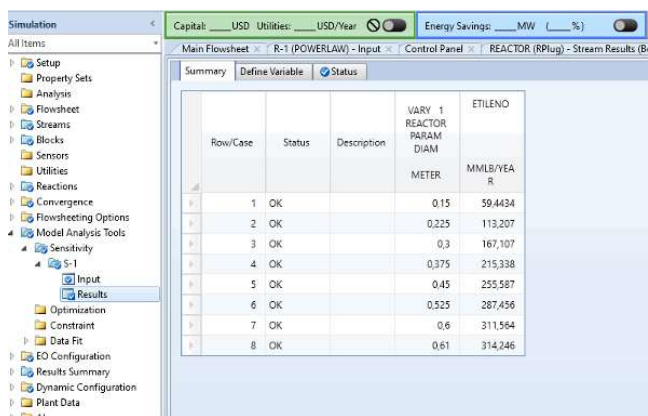


Figura 16. Resultados del análisis de sensibilidad detallado en la Fig. 15.
Fuente: autor.



Figura 17. Definición de una segunda variable a manipular en el análisis de sensibilidad.
Fuente: autor.

Para el análisis de sensibilidad, como para la especificación de diseño, pudo mantenerse fijo el diámetro y como variable a manipular seleccionar la longitud. Más aún, en el análisis de sensibilidad puede manipularse simultáneamente ambas variables. Para ello, puede volver a la carpeta VARY y definir una nueva (Variable 2), en este caso la longitud del reactor. Según la Fig. 17 y para el ejemplo, con 20 valores entre 1 y 20 m.

Nótese en la Fig. 17 que ambas variables (1 y 2) que representan el diámetro y la longitud del reactor, respectivamente, tienen una casilla de verificación que dice "Activa". Si se "desactiva" la variable 2 y se mantienen "activa" la variable 1 para correr el análisis, el resultado será similar al mostrado previamente en la Fig. 16 (manteniendo fija la longitud y variando el diámetro). Por el contrario, si se "desactiva" la variable 1 y se mantiene "activa" la variable 2, el resultado serán las 20 evaluaciones de longitudes diferentes manteniendo el diámetro fijo en el valor especificado en la simulación (Fig.18). Es decir, para un diámetro de 0,61 m (Figura 6b), los 300 millones de libras de etileno se consiguen con un reactor de entre 8 y 9 metros de longitud. Nuevamente, si se re-definen los límites de la variable 2 entre 8 y 9 y/o se incrementa la cantidad de puntos (20 actualmente), puede llegarse con mayor exactitud a la respuesta deseada.

Adicionalmente, si se mantienen "activas" ambas variables, el software correrá para cada valor del diámetro (7

puntos según las especificaciones de la Fig. 15a) los 20 valores especificados para la longitud (Fig. 17); es decir, correrá 140 simulaciones. Este resultado tabulado puede llegar a ser difícil de interpretar, debido a la cantidad de datos que genera. En la Fig. 19 se muestra el resultado tabulado para las primeras 19 simulaciones. Para este tipo de análisis (más de una variable manipulada), las representaciones gráficas pueden resultar más sencillas de interpretar.

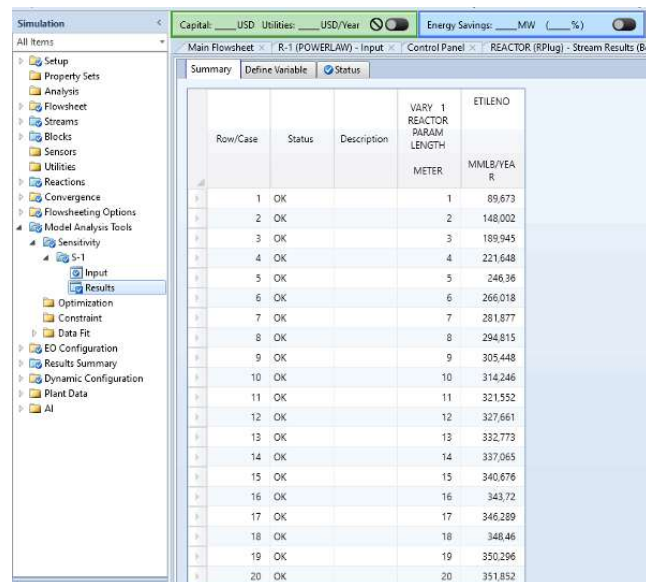


Figura 18. Resultados del análisis de sensibilidad variando la longitud (diámetro fijo).
Fuente: autor.

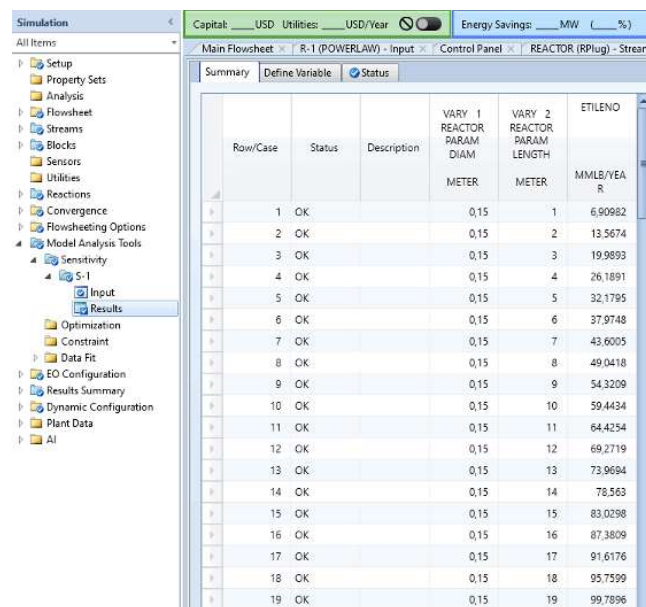


Figura 19. Resultados (parciales) del análisis de sensibilidad especificado en la Fig.17.
Fuente: autor.

El software permite especificar un gráfico 3D (Fig. 20), cuyo resultado se muestra en la Fig. 21. Alternativamente, permite especificar un gráfico paramétrico (Fig. 22), cuyo resultado se muestra en la Fig. 23.



Figura 20. Especificación para un gráfico 3D de los resultados tabulados en la Fig. 19.

Fuente: autor.

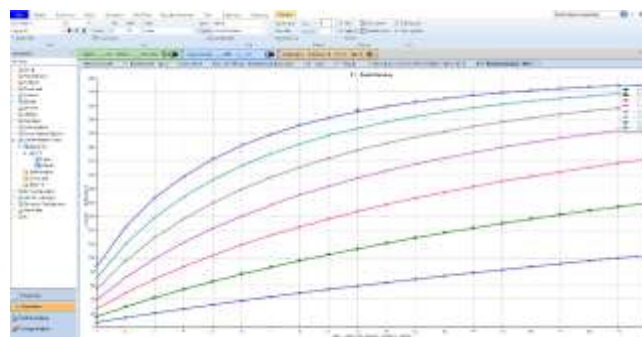


Figura 23. Gráfico paramétrico de los resultados tabulados en la Fig. 19.

Fuente: autor.

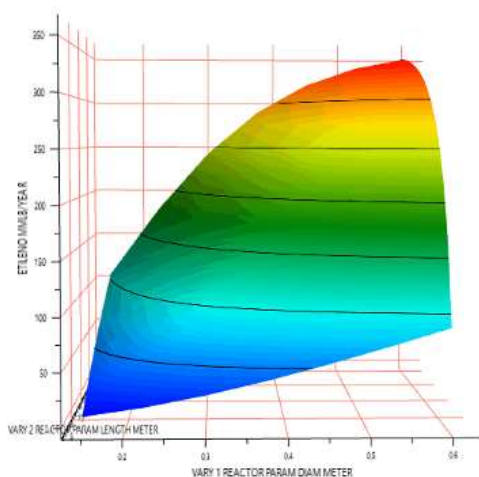


Figura 21. Gráfico 3D de los resultados tabulados en la Fig. 19.

Fuente: autor.



Figura 22. Especificación para un gráfico paramétrico de los resultados tabulados en la Fig. 19.

Fuente: autor.

De las Fig. 22, 23 puede leerse el valor de diferentes combinaciones longitud-diámetro que permiten alcanzar una producción anual de 300 millones de libras de etileno. En un escenario real la elección de los valores a utilizar para determinar el volumen del reactor dependerá de consideraciones técnicas frente a las dimensiones seleccionadas y/o del criterio del ingeniero encargado.