

## V. MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.1 METODOLOGÍA

El trabajo práctico y experimental sobre la torre de destilación, tiene distintas necesidades para los diferentes laboratorios de Ingeniería Química, los objetivos específicos que se plantean buscan resolver los problemas presentados en semestres anteriores, y cubrir los requerimientos de las prácticas de laboratorio.

La torre de destilación de la Universidad de las Américas, Puebla (UDLA, P) es una torre que fue adquirida hace varios años, con el objetivo de mejorar el trabajo en el laboratorio de las operaciones unitarias. Este objetivo había sido cumplido cabalmente hasta hace algunos años, pues debido al uso normal de la torre, su desempeño fue viéndose reducido.

Con todo equipo de trabajo, es necesario tener un programa de mantenimiento periódico, que permita asegurar el buen funcionamiento del mismo.

Ahora, dado que a la torre se la había privado del mismo, el primer paso debe ser el desmontaje de la columna en su totalidad, para proceder con la limpieza de sus partes, la renovación de los soportes, uniones y sellos, así como una revisión del estado general de los equipos integrados a la torre.

Para el trabajo experimental, se necesitan mezclas representativas de los procesos de destilación, que complementen la teoría de la clase, para ello es necesario hacer un estudio de las propiedades de diferentes mezclas binarias, para elegir las más adecuadas para los objetivos del laboratorio.

Primero se busca en la bibliografía especializada, sistemas binarios que tengan un comportamiento cercano al ideal, y que cumplan con las características deseables en una mezcla, después, con los datos reportados de ELV para los sistemas preseleccionados, se hace una validación de los mismos mediante pruebas de consistencia termodinámica en un simulador de procesos.

Una vez que se ha hecho la validación, se necesita encontrar un método de predicción de propiedades termodinámicas que se ajuste lo más posible a los datos experimentales reportados. Esto es porque dado que los datos reportados no siempre se encuentran a las condiciones de operación que se manejan en la torre de destilación, es necesario predecir el ELV a las condiciones dadas de la planta piloto.

De diversos métodos de predicción disponibles en el simulador, se elige el que mejor se ajusta a los datos experimentales a partir de una prueba de error por mínimos cuadrados, resuelta también con la ayuda del software. Así, con la mezcla que mejor cumple con las características deseables y con el método de predicción de propiedades con menos desviaciones, se propone el sistema que se ha de utilizar en el trabajo práctico de las sesiones de laboratorio.

Diseñar el trabajo experimental en la torre mediante métodos gráficos y simulación con métodos rigurosos, es el siguiente paso. Esto se hace a partir de los sistemas binarios representativos seleccionados, para poder establecer las condiciones de operación que mejoran el trabajo en el laboratorio.

Es necesario hacer una revisión de las mezclas que se trabajaron en años anteriores en las prácticas con la torre, para poder establecer las variables que más influyen en el proceso de destilación y que pueden ser manipuladas durante la operación de la columna. Además, se recurre a los métodos gráficos de diseño para establecer

dichas variables como un todo, complementando las especificaciones de la columna que no pueden ser cambiadas.

Con la propuesta de los métodos gráficos, se lleva el trabajo al simulador de procesos para predecir mediante métodos cortos y rigurosos, el comportamiento de la mezcla binaria y el desempeño de la torre con las condiciones de operación sugeridas.

El simulador permite tener una predicción del proceso de destilación en un tiempo mucho más corto, que la operación sobre la columna misma, y se pueden hacer correcciones inmediatas sobre los parámetros especificados, para hacer la validación de la propuesta de trabajo experimental.

Una vez que corroborado el trabajo en el simulador de procesos, es necesario realizar la destilación experimentalmente en la planta piloto, para poder comparar los datos de operación con los calculados para el diseño.

Esto es con la finalidad de comprobar realmente que el trabajo en el laboratorio puede llevarse a cabo, y para determinar las posibles variaciones que pueden afectar el desempeño de la torre, variaciones que el simulador no tiene implementadas, pero que sobre la práctica experimental pueden ser consideradas y en su caso corregidas, para lograr una propuesta final de operación de la torre.

## **5.2 TORRE DE DESTILACIÓN DE LA UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS, PUEBLA**

Dentro de las instalaciones de la planta piloto de la UDLA, P se tiene disponible para el cuerpo estudiantil del Departamento de Ingeniería Química y Alimentos, una

torre de destilación fabricada de vidrio borosilicato templado, con capacidad para hacer destilaciones de mezclas multicomponentes, sin embargo, hasta el momento, la operación de la torre se hace bajo ciertas condiciones que podrían modificarse para mejorar el desempeño de la misma.

Dichas condiciones son:

- ✦ Operación continua.
- ✦ Destilación a presión atmosférica.
- ✦ Pre-calentamiento de la alimentación.
- ✦ Punto de alimentación fijo.
- ✦ Destilación simple de mezclas binarias.

Y sus características físicas son las siguientes:

- ✦ Columna con 10 platos y puntos de muestreo en las etapas 1, 3, 5, 6, 8 y 10.
- ✦ Rehervidor con calentamiento eléctrico.
- ✦ Alimentación por gravedad.
- ✦ Válvula de retorno de reflujo.
- ✦ Medición de temperatura con termopares en los puntos de muestreo.
- ✦ Control de temperatura en las resistencias eléctricas y apertura o cierre de la válvula para el reflujo.

La preparación de la columna, su mantenimiento e instalación de los componentes que necesita, debe hacerse bajo los principios del estudio de la dinámica de los procesos y el control de los mismos, y es necesario tomar en cuenta, además, las condiciones en las que se pretende operar el proceso, tomando como base las mezclas que se quieren separar para el análisis de la destilación de multicomponentes.

Es importante conocer el comportamiento de las mezclas usadas en el proceso de la columna de la UDLA, P porque es lógico el razonamiento de que resulta impráctico tratar de medir y controlar un proceso del cual no se tiene una idea y una concepción definida y clara, por ello es mejor determinar el comportamiento experimental de los componentes presentes en la mezclas mediante la validación de la destilación de los mismos en el equipo.

Conociendo las características deseables de la mezcla a separar, se puede elegir una o varias mezclas con las cuales se pueda trabajar siguiendo los objetivos planteados para el trabajo.

### **5.2.1 Características Deseables en una Torre de Destilación**

Para los objetivos planteados dentro de la enseñanza de la destilación es necesario contar con un equipo adecuado para las exigencias del laboratorio. Las características deseables en una columna de destilación son:

- ✦ Otorgar una formación práctica segura para estudiantes de ingeniería química.
- ✦ Capacidad para el estudio de los principios básicos de la destilación.
- ✦ Capacidad para manejar mezclas multicomponentes de comportamiento ideal y azeotrópico.
- ✦ Tiempos de arranque cortos.
- ✦ Facilidad de operación.
- ✦ Monitorear las variables del proceso, controlarlas y registrarlas.

Estas variables son:

- ✦ Flujo de alimentación.
- ✦ Medir perfiles de temperatura.

- ✦ Medir caídas de presión.
- ✦ Control de la relación de reflujo.
- ✦ Determinar composiciones al equilibrio en los platos.
- ✦ Cargas térmicas en rehervidor y condensador.

### **5.3 MEZCLAS BINARIAS CON CARACTERÍSTICAS DESEABLES**

Debido a que el uso principal de la torre de destilación es la enseñanza de los principios que rigen el proceso de separación multicomponente, es necesario preparar el ejercicio de aprendizaje con mezclas representativas de los sistemas que usualmente son manejados en estos equipos.

Las mezclas elegidas para el trabajo experimental se reportan en la sección de resultados, en esta parte se discutirán las características deseables, su importancia y por qué deben cumplirse en la experimentación a nivel planta piloto.

Es claro que en un proceso a nivel industrial, la separación por destilación involucra mezclas formadas por una cantidad considerable de componentes, sin embargo, en un proceso a escala de planta piloto, la dificultad de manejar mezclas tan complejas es por principio debido a que no se tienen disponibles cantidades tan grandes de los materiales, además de que los sistemas a emplearse en la escala deseada deben ser, como ya sea había mencionado, representativos.

Para ello, la preparación de un sistema binario es la opción más adecuada si se quiere facilitar el aprendizaje del alumno porque ofrece varias ventajas importantes, tales como:

- ✿ Una fácil preparación para su uso en la torre.
- ✿ Los volúmenes de componentes pueden manejarse de forma sencilla.
- ✿ El sistema puede ser representativo de los modelos ideal y no ideal de mezclas multicomponentes.

El sistema binario de componentes, necesita de ciertas características deseables para su introducción al proceso de destilación, tales características son:

- ✿ Comportamiento ideal.
- ✿ Diferente índice de refracción.
- ✿ Volatilidades adecuadas.
- ✿ No peligrosas.
- ✿ Bajo costo.

El comportamiento ideal, es una característica deseable pues se pretende demostrar el proceso de destilación a lo largo de todo el perfil de composiciones al equilibrio de una mezcla binaria. Una mezcla que tenga un azeótropo delimita el rango de composiciones en las que el proceso se puede llevar a cabo, dificultando además las mediciones de las variables del proceso mientras el equilibrio se va desplazando hacia ese punto.

El índice de refracción (IR) es una propiedad física que resulta conveniente para la determinación de las composiciones. A partir de un muestreo realizado a lo largo de la columna, es posible medir el IR de dicha muestra y de ahí determinar la fracción presente de uno y otro componente. Por ello, mientras más alejados los IR's de cada componente puro, el cambio en el valor se hace evidente mientras se va desplazando el equilibrio de fases. El análisis del índice de refracción como método para determinar las composiciones se ha elegido en base a su sencillez, y rápida ejecución, al momento de tomar las muestras en los puertos de la torre.

Existen desde luego otros métodos de análisis que resultan más eficaces en cuanto a la determinación de las fracciones de componentes presentes en la muestra, por ejemplo, la cromatografía. Sin embargo, dada su complejidad resulta difícil programar la preparación y uso del equipo para las diferentes sesiones de la torre que se efectúan a lo largo del semestre en el laboratorio de Operaciones Unitarias.

La volatilidad es otra propiedad importante, porque resulta adecuada una mezcla que presente un comportamiento ideal y tenga un grado de separación. Considerando también que de nada sirve una mezcla que, a las condiciones del laboratorio, se separe de manera inmediata. Por ello, el proceso debe tener en conjunto una facilidad de separación y un tiempo adecuado para lograrlo.

Las sustancias que sean constituyentes de la mezcla a separar deben cumplir con los aspectos de seguridad para su manejo, es decir, no deben ser reactivas, inflamables, tóxicas, corrosivas o explosivas, pues su manipulación se hace de manera directa tanto al momento de preparar la destilación como al hacer la separación en la columna, y no es adecuado exponer al estudiante a una situación riesgosa que pueda perjudicarlo de forma alguna.

El bajo costo de las sustancias es un aspecto importante si se toma en cuenta que es necesario programar diversas sesiones de los laboratorios durante el semestre, por lo que siempre existe la necesidad de preparar nuevamente la mezcla problema, lo que implica un consumo importante de los constituyentes de la misma.

Con las características deseables en las mezclas binarias, el siguiente paso es establecer los sistemas candidatos que pueden ser usados en el trabajo experimental de la torre de destilación.

Es necesario contar con datos de ELV de cada mezcla a evaluar, pues una parte es el análisis del comportamiento adecuado de las mezclas binarias, así como las



condiciones de operación para la destilación. Desde luego, es recomendable tener una fuente confiable para la obtención de estos datos, ya que son el comienzo del análisis de los sistemas que se pretenden estudiar.

#### **5.4 SIMULADOR DE PROCESOS ASPEN PLUS**

Un simulador de procesos es una herramienta computacional construida con un lenguaje de programación, integrando una interfase que ayuda al usuario a efectuar diversas operaciones sobre un proceso químico determinado.

El simulador de procesos, como su nombre lo dice, funciona principalmente para la creación de procesos en un ambiente de simulación, que tiene por objeto analizar las variables presentes en el mismo, desde la caracterización y preparación de las materias primas, hasta la determinación de los productos obtenidos además de la colección completa de propiedades físicas, químicas y termodinámicas de las sustancias que intervienen en el proceso.

Para el desarrollo de los métodos de predicción de propiedades, la simulación y el diseño de la operación de la torre de destilación, se hace uso del software Aspen Plus de la empresa Aspen Tech. Este simulador es uno de los más completos y poderosos a nivel mundial, ya que cuenta dentro de su estructura, con un gran número de equipos industriales, desde bombas, mezcladores y separadores flash, hasta reactores, torres de destilación, ciclones e intercambiadores de calor.

Dentro de las muchas funciones de Aspen, se tiene la capacidad para no sólo simular un proceso dado, sino para hacer el diseño de los equipos y la configuración de los mismos para crear nuevos procesos y analizarlos de manera exhaustiva.

Se puede hacer el manejo de datos termodinámicos, datos de equilibrio de fases, predicción de propiedades, especificaciones de diseño, análisis de propiedades, entre muchas otras herramientas y funciones que permiten trabajar y desarrollar un proceso desde casi cualquier perspectiva que uno necesite.

Entre las distintas herramientas que tiene integradas Aspen, existen algunas de ellas que son particularmente útiles para el desarrollo de este trabajo, y se describen a continuación.

#### **5.4.1 Property Analysis**

Aspen Plus permite hacer una predicción del comportamiento del ELV de una mezcla mediante la herramienta Property Analysis. Para el caso de la destilación, es necesario elegir un método de propiedades que sea adecuado a los componentes de la mezcla, esto es, que cuente con los parámetros de interacción binaria correspondientes.

De este modo, es más probable que se ajuste mejor a lo que es el sistema en condiciones experimentales, además también es importante que los rangos de temperatura para los que se tiene la validación de los valores de los parámetros, sea el mismo en el que se pretende hacer la simulación, todo esto para no caer en el error de que el método haga la predicción del sistema de manera ideal, pudiendo ser un sistema no ideal.

Entre las opciones que tiene la herramienta, se tiene la opción de trabajar con series de datos que pueden o no corresponder a una curva flash, en función a un flujo determinado, se pueden establecer también las variables fijas del sistema y las variables que deben ajustarse, las propiedades que se están buscando y las fases en las que se quiere trabajar.

El sistema requiere que se haga un estudio sobre los puntos sobre una curva de separación flash, y la especificación de los componentes iniciales de la mezcla. Después es necesario que se establezcan las condiciones de P, T o fracción de vapor. Esto es importante debido a que si no se especifican adecuadamente las condiciones, se podría caer dentro de una fase homogénea y no habría ELV. La variable ajustada para realizar el análisis es la fracción mol de uno de los componentes para poder conocer la variación en composición de la mezcla a lo largo de toda la curva flash, desde un componente puro hasta el otro.

#### **5.4.2 Data Regression**

Otra de las herramientas de Aspen, es el Data Regression, que permite generar valores de los parámetros de las propiedades físicas a partir de los modelos implementados en el simulador.

Cuando se requiere hacer una predicción del ELV de una mezcla, es importante que para el método de propiedades que se elige, el simulador cuente con el mayor número de parámetros de interacción binaria para esa mezcla. De no contar con los valores de dichos parámetros, es necesario generarlos para hacer que el método de predicción se ajuste mejor a las condiciones de la simulación.

Aspen ajusta los parámetros de las propiedades físicas a una serie de datos experimentales de componentes puros o mezclas multicomponente. Es posible introducir casi cualquier serie de datos experimentales, como por ejemplo:

- ☀ Equilibrio Líquido – Vapor.
- ☀ Equilibrio Líquido – Líquido.
- ☀ Densidad.

- ✿ Capacidad calorífica.
- ✿ Coeficientes de actividad.

Para usar la herramienta de regresión, es necesario especificar en el programa el tipo de sesión que se quiere hacer, se definen los componentes que se han de usar, luego se elige el método de propiedades que mejor se ajusta a nuestro sistema multicomponente. A continuación, hay que ingresar la serie de datos experimentales con los que se establece la base para el ajuste y la regresión de los parámetros de interacción binaria y finalmente se hace la regresión en el simulador.

Es importante establecer que, la serie de datos experimentales debe ser precisa sobre el comportamiento real de la mezcla, esto es, que los valores ingresados tengan un sentido físico real puesto que de ellos depende el resultado de la regresión, se debe establecer un cierto nivel de confianza sobre la veracidad de los datos, en otras palabras, hay que realizar una validación termodinámica de los mismos.

Dada la necesidad de encontrar un método de propiedades que tuviera éxito en la predicción del ELV para las mezclas a usar en el trabajo experimental de la torre de destilación, es necesario plantear una serie de simulaciones en Aspen para diferentes mezclas candidatas, haciendo uso de distintas ecuaciones de estado y modelos predictivos disponibles en el simulador.

Si se emplean datos reportados en alguna fuente, es necesaria la consideración de que no se puede garantizar completamente la veracidad de los datos. Por ello es necesario realizar una serie de pruebas de consistencia a cada uno de los grupos de datos reportados para poder afirmar que son útiles en la validación del método.

Así mismo, los datos predichos con cada método deben ser sometidos a pruebas de error, para asegurar que realmente se aproximan a los datos reportados. De manera tal que sea adecuado elegir un método determinado, para realizar las siguientes pruebas y

simulaciones en Aspen, tomando en cuenta que los datos reportados han sido probados y aceptados como verídicos para el ELV.

Debido a las opciones de condiciones necesarias para alcanzar el ELV, se puede trabajar con una T constante para generar un sistema Pxy o a P constante para obtener datos Txy. En la práctica, es importante conocer los efectos de la dependencia de la temperatura de los coeficientes de actividad, dado que así se logra obtener una mayor precisión en la representación de los datos de ELV, y sobre todo en los casos de destilación.

Por ello, la aplicación de datos isotérmicos e/o isóbaros se basa en una cuestión: ¿cómo se obtiene la mejor aproximación del coeficiente de actividad dada su fuerte función de la temperatura? En el caso de trabajar con sistemas isotérmicos, es necesario tener dos o tres grupos de datos para verificar el efecto de diversas temperaturas sobre el coeficiente de actividad, mientras que con sistemas a presión constante, sólo se necesita un grupo de datos para observar el efecto con las variaciones constantes de la temperatura.

Aunque con el debido cuidado, y en manejo adecuado de los datos, se puede trabajar con las dos condiciones ya sea de manera separada o en conjunto, y obtener buenos resultados de datos de ELV.

Para aplicaciones en destilación, resulta mucho más efectivo trabajar con un sistema a presión constante debido a las implicaciones en tiempo y el costo del análisis de los datos. Esto es especialmente útil cuando las mediciones se pueden realizar a la presión a la cual se va a operar la destilación.

Aspen realiza la prueba de consistencia para los datos de ELV que se ingresan al simulador si se mantienen las condiciones de:

- ✿ Composiciones para la fase líquida y vapor.
- ✿ Por lo menos 5 pares de datos en equilibrio sin contar los puntos de los componentes puros.

Aspen incluye dos métodos para las pruebas de consistencia termodinámica:

- ✿ La Prueba de Áreas de Redlich – Kister.
- ✿ La Prueba de Puntos de Van Ness y Fredenslund.

Ambos métodos usan la ecuación de Gibbs – Duhem y el simulador tiene como opción predeterminada ejecutar la prueba de áreas, es posible modificar la tolerancia de las pruebas para ajustar los resultados de la misma y establecer la validación de los datos.

Aspen tiene como opción predeterminada la prueba de áreas, aunque es posible seleccionar el otro método de prueba, o ambos, e incluso modificar la tolerancia de las mismas. También es posible darle un peso determinado al grupo o grupos de datos que mejor ajustan a la predicción, así como rechazar los que han fallado en las pruebas.

Si un grupo de datos no logra pasar la consistencia, puede deberse a factores como:

- ✿ Errores en los datos, porque vienen mal reportados o al momento de ingresarlos.
- ✿ La fase vapor predicha por la EDE no resulta adecuada puesto que quizás se trate de un posible comportamiento no ideal por parte del sistema.
- ✿ No se tienen suficientes pares de datos de ELV o únicamente abarcan un rango limitado de composiciones.

Los datos reportados o experimentales deben tener una consistencia interna y deben ajustarse a los parámetros termodinámicos de la ecuación de Gibbs – Duhem:

$$\sum x_i d \ln \gamma_i = \frac{-H^E dT}{RT^2} + \frac{V^E dP}{RT} \quad (108)$$

Esta ecuación es la base para un tipo de prueba de consistencia para datos de ELV. Con datos isotérmicos, el calor de mezclado se vuelve cero en la ecuación, y el efecto en la presión en el coeficiente de actividad se reduce significativamente. La integración de la forma simple de la ecuación a través de todo el rango de composiciones es:

$$0 = \int_0^1 \ln \left( \frac{\gamma_i}{\gamma_j} \right) dx_i \quad (109)$$

El valor de la función logarítmica pasa de positivo a negativo mientras se va modificando la composición de la mezcla, si ambas áreas resultan iguales, entonces los datos son consistentes en la prueba. El método de Redlich – Kister de prueba de áreas está basado en esta ecuación. Gmehling y Onken sugieren que la diferencia entre las áreas positivas y negativas sea menor a un cierto porcentaje, en donde la diferencia es:

$$D_{RK} = 100 \frac{P - |N|}{P + |N|} \quad (110)$$

Van Ness ha demostrado que el efecto de la presión se cancela cuando se toma el cociente entre los coeficientes de actividad de la integral simplificada. Sin embargo, prueba de áreas de Redlich – Kister no hace uso de datos de presión y es inconclusa en algunos aspectos.

Por ello, Van Ness propuso una prueba “punto por punto” que mide la consistencia interna de los datos. Las diferencias entre los datos experimentales y calculados para las fracciones mol en la fase líquida y la fase vapor, se deben a errores

sistemáticos en la técnica experimental o a una desviación de los coeficientes de actividad, los coeficientes de fugacidad o los modelos de los sistemas binarios. Gmehling y Onken han propuesto que los datos son consistentes internamente si el error en la fracción mol de la fase vapor es menor o igual a 0.01, y aunque algunos puntos no cumplan con esta restricción, el resto de los datos deberán ser de un nivel de consistencia adecuado.

Para los realizar la predicción de los datos de ELV con cada método elegido, se tomaron como bases diversas series de datos a presión constante y a temperatura constante, de acuerdo a su disponibilidad en la literatura.

Para verificar que las predicciones se ajustaran de manera adecuada a los datos reportados, Aspen realiza una prueba de errores por raíces cuadradas promedio o RMS por sus siglas en inglés, en donde el error se define como la relación entre el desvío del valor observado y el valor estimado, este método se expresa así:

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (E_i - O_i)^2} \quad (111)$$

Donde n es el número de observaciones, E es el valor esperado y O es el valor observado, ambos de la variable i.

### 5.4.3 Módulo RadFrac

El módulo RadFrac es un módulo riguroso para simular todo tipo de operaciones de separación multietapas vapor – líquido. Entre estas operaciones se incluyen:

- ✱ Destilación ordinaria.
- ✱ Absorción.



- ✿ Desorción.
- ✿ Destilación extractiva y azeotrópica.

RadFrac es aplicable a sistemas de dos o tres fases, sistemas con puntos de ebullición cercanos y sistemas líquidos con grandes desviaciones de la idealidad.

También puede detectar y manejar cálculos para fases libres de agua o una segunda fase líquida en cualquier parte de la columna, además de poder manejar sólidos en cada etapa. RadFrac puede manipular corrientes de recirculación saliendo de cualquier etapa de la columna y regresando a la misma etapa o a una distinta.

El módulo RadFrac es capaz de modelar columnas en donde ocurran reacciones químicas (con conversión, en equilibrio, controladas por cinética o electrolíticas).

También puede modelar columnas en donde dos fases líquidas están presentes con reacciones químicas, usando diferentes cinéticas de reacción para dichas fases. Entre otras cosas puede además modelar precipitación de sales.

A pesar de que RadFrac supone etapas en equilibrio, se pueden especificar eficiencias de Murphree o de vaporización. Es posible ajustar las eficiencias de Murphree para que concuerden con el desempeño dado de una planta.

Se puede utilizar RadFrac para dimensionar y probar columnas que contengan platos y/o empaques. Además de modelar empaques estructurados o aleatorios.

El módulo RadFrac despliega como resultados cargas térmicas de condensador y rehervidor, temperaturas de fondos y destilado, flujos de destilado y fondos, relaciones de reflujo y boil – up, perfiles de temperatura, composición, flujo y presión, entre otros.

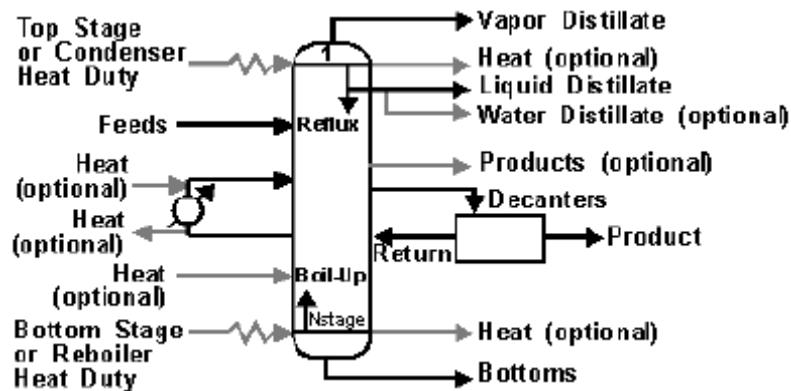


Figura 14. Módulo RadFrac (Manual de Aspen v. 12.1)

#### 5.4.4 Design Specification

Esta función de Aspen, permite fijar el valor de una variable dentro de un proceso, que de otra forma, en simulador tendría que calcular. Para poder realizar esto, el programa manipula el valor de cualquier otra variable que tenga efecto en el resultado que se ha fijado, hasta alcanzar dicho valor.

Es posible también especificar una función de variables de un proceso, el design specification resuelve lazos internos de forma iterativa hasta que la diferencia entre el valor calculado y el valor especificado sea igual o menor a cierta tolerancia.

Se puede ingresar una estimación del valor de la variable manipulada para ayudar al programa a converger en pocas iteraciones, esto es importante en procesos complejos.