



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

**PROPUESTA PARA INCLUIR EN EL CURRÍCULO DE LA CARRERA DE INGENIERÍA
QUÍMICA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA UNA ASIGNATURA,
CUYO CONTENIDO SEA LA SIMULACIÓN DE PROCESOS QUÍMICOS, UTILIZANDO LA
APLICACIÓN DEL SOFTWARE ASPEN HYSYS**

Linda Esther Xiquin Jiménez

Asesorado por el Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía

Guatemala, junio de 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROPUESTA PARA INCLUIR EN EL CURRÍCULO DE LA CARRERA DE INGENIERÍA
QUÍMICA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA UNA ASIGNATURA,
CUYO CONTENIDO SEA LA SIMULACIÓN DE PROCESOS QUÍMICOS, UTILIZANDO LA
APLICACIÓN DEL SOFTWARE ASPEN HYSYS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

LINDA ESTHER XIQUIN JIMÉNEZ

ASESORADO POR EL ING. WILLIAMS GUILLERMO ÁLVAREZ MEJÍA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA QUÍMICA

GUATEMALA, JUNIO DE 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
VOCAL V	Br. Carlos Enrique Gómez Donis
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez
EXAMINADOR	Ing. Jaime Domingo Carranza Gonzales
EXAMINADOR	Ing. Gerardo Ordoñez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

PROPUESTA PARA INCLUIR EN EL CURRÍCULO DE LA CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA UNA ASIGNATURA, CUYO CONTENIDO SEA LA SIMULACIÓN DE PROCESOS QUÍMICOS, UTILIZANDO LA APLICACIÓN DEL SOFTWARE ASPEN HYSYS

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 17 de noviembre de 2015.



Linda Esther Xiquin Jiménez

Guatemala, 24 de octubre del 2017
Ref. WGAM. TE. ASE. 00020.2017-10-24

Ingeniero
Carlos Salvador Wong Davi
Director
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Presente.

Estimado Director:

Atentamente me dirijo a usted para hacer de su conocimiento que he tenido a la vista el informe final del Trabajo de Graduación de la estudiante de Ingeniería Química **LINDA ESTHER XIQUIN JIMÉNEZ**, quién se identifica con el Registro Académico 2012-12757 y CUI 2510 61264 0101, titulado: "**PROPUESTA PARA INCLUIR EN EL CURRÍCULO DE LA CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA UNA ASIGNATURA, CUYO CONTENIDO SEA LA SIMULACIÓN DE PROCESOS QUÍMICOS, UTILIZANDO LA APLICACIÓN DEL SOFTWARE ASPEN HYSYS**", el cual asesoro. Considerando que éste informe final del trabajo de investigación para graduación reúne rigor, secuencia y coherencia metodológica lo remito para su consideración para continuar con los trámites correspondientes.

Agradeciendo la atención a la presente, le saluda respetuosamente,



Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía, M.I.Q; M.I.E; c.Dr.

Profesor Titular XII

Williams G. Álvarez Mejía
Ingeniero Químico
Magister en Ingeniería Química
Máster en Innovación Educativa
Colegiado.259

C.c: Archivo
WGAM/awgam



Guatemala, 22 de febrero de 2018.
Ref. EIQ.TG-IF.009.2018.

Ingeniero
Carlos Salvador Wong Davi
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Wong:

Como consta en el registro de evaluación del informe final EIQ-PRO-REG-007 correlativo **094-2015** le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

**INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN
-Modalidad Seminario de Investigación-**

Solicitado por la estudiante universitaria: **Linda Esther Xiquin Jiménez.**
Identificada con número de carné: **2510 61264 0101.**
Identificada con registro académico: **2012-12757.**
Previo a optar al título de **INGENIERA QUÍMICA.**

Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

PROPUESTA PARA INCLUIR EN EL CURRÍCULO DE LA CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA UNA ASIGNATURA, CUYO CONTENIDO SEA LA SIMULACIÓN DE PROCESOS QUÍMICOS, UTILIZANDO LA APLICACIÓN DEL SOFTWARE ASPEN HYSYS

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por el Ingeniero Químico: **Williams Guillermo Álvarez Mejía.**

Habiendo encontrado el referido informe final del trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez
COORDINADOR DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación



C.c.: archivo



Agencia Centroamericana de Acreditación de
Programas de Arquitectura y de Ingeniería





Ref.EIQ.TG.011.2018

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación de la estudiante, **LINDA ESTHER XIQUIN JIMÉNEZ** titulado: **"PROPUESTA PARA INCLUIR EN EL CURRÍCULO DE LA CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA UNA ASIGNATURA, CUYO CONTENIDO SEA LA SIMULACIÓN DE PROCESOS QUÍMICOS, UTILIZANDO LA APLICACIÓN DEL SOFTWARE ASPEN HYSYS."**. Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Carlos Salvador Wong Davi
Director
Escuela de Ingeniería Química

Guatemala, mayo de 2018 **FACULTAD DE INGENIERIA USAC**
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA
DIRECTOR

Cc: Archivo
CSWD/ale





El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **PROPUESTA PARA INCLUIR EN EL CURRÍCULO DE LA CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA UNA ASIGNATURA, CUYO CONTENIDO SEA LA SIMULACIÓN DE PROCESOS QUÍMICOS, UTILIZANDO LA APLICACIÓN DEL SOFTWARE ASPEN HYSYS,** presentado por la estudiante universitaria: **Linda Esther Xiquin Jiménez,** y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano



Guatemala, junio de 2018

/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Mi Padre Celestial quien merece toda gloria y honra.

Mis padres

Emeterio Xiquin y Amelia Jiménez, por el amor y cariño que me brindan y expresan a través del esfuerzo y la paciencia que han tenido al instruirme en este camino.

Mis hermanos y sus familias

A quienes admiro y aprecio por el afecto y cariño que me dan a través de las enseñanzas que me brindan y por la alegría que provocan en mi vida.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Agradezco a Dios el autor de la vida, quien le da valor a mi existencia, por las bendiciones que me ha dado, y porque hasta aquí su mano fuerte no me ha faltado en todo lo que emprendo.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Por proveerme la oportunidad de profesionalizarme.
Facultad de Ingeniería	Por formarme técnicamente como ingeniera.
Mi padre	Emeterio Xiquin, quien gracias a su gran esfuerzo y empeño me ha brindado la oportunidad de desarrollarme y crecer; mi mayor inspiración en esta tierra, quien con su ejemplo me ha enseñado a amar a Dios, primeramente, y a que con gran esfuerzo y dedicación es posible alcanzar nuestras metas.
Mi madre	Amelia de Xiquin, por el gran amor que me brinda, expresado no solamente en caricias y palabras sino también en acciones al proporcionarme su gran apoyo en todo momento; por instruirme con sabiduría.

Mis hermanos

Carlos, Isabel, Daniel, Joel, Lady y Amanda a quienes amo por el gran apoyo que me brindan, por sus consejos y por la alegría que contagian.

Ing. Williams

Por apoyarme en la realización de este trabajo de graduación.

Ing. Víctor Monzón

Por apoyarme en la realización de este trabajo de graduación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	XI
GLOSARIO	XIII
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. ANTECEDENTES	1
2. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1. Simulación de procesos.....	3
2.1.1. Historia de la simulación de procesos	4
2.1.2. Clasificación de los métodos de simulación	4
2.1.2.1. Simulación cualitativa y cuantitativa	5
2.1.2.2. Simulación estacionaria y dinámica.....	6
2.1.3. Simuladores de procesos químicos complejos	6
2.1.4. Tipos de simuladores de procesos	8
2.1.4.1. Simuladores globales u orientados a ecuaciones.....	8
2.1.4.2. Simuladores modulares secuenciales.....	10
2.1.4.3. Simuladores híbridos o modulares secuencial-simultáneo	14
2.2. Optimización.....	14
2.2.1. Formulación del modelo	17

	2.2.1.1.	Identificar las variables de decisión	17
	2.2.1.2.	Identificar y fijar las restricciones.....	17
	2.2.1.3.	Definición de los objetivos	18
	2.2.1.4.	Análisis de la información disponible....	18
2.3.		Competencias educativas	19
	2.3.1.	Clasificación de las competencias educativas.....	20
3.		DISEÑO METODOLÓGICO.....	21
	3.1.	Enfoque de la investigación	21
	3.2.	Población y muestra.....	21
	3.3.	Instrumento de recogida de datos	22
	3.4.	Recursos materiales.....	22
	3.5.	Recursos Humanos.....	23
4.		RESULTADOS E INTERPRETACIÓN.....	25
	4.1.	Ejes temáticos con el nombre de la asignatura	27
	4.2.	Carácter y créditos atribuidos a la asignatura	29
	4.3.	Análisis de los objetivos de la asignatura.....	32
	4.3.1.	Análisis del objetivo general	32
	4.3.2.	Análisis de los objetivos específicos	32
	4.4.	Análisis de las competencias	33
	4.4.1.	Competencias genéricas	33
	4.4.2.	Competencias específicas.....	34
	4.5.	Análisis del contenido de la asignatura	37
	4.6.	Métodos de enseñanza y aprendizaje de la asignatura	40
	4.7.	Métodos de evaluación	42
	4.8.	Evaluación formativa	44
	4.9.	Bibliografía recomendada	46

4.10.	Herramienta tecnológica utilizada en las prácticas de laboratorio.....	52
4.10.1.	Aspen HYSYS	52
4.10.2.	Aspen Custom Modeler	53
4.10.3.	Aspen Icarus Process Evaluator (IPE).....	53
4.11.	Guía básica del uso del software Aspen HYSYS V8.0	54
4.11.1.	Descripción del entorno de HYSYS	54
4.11.2.	Algoritmo básico para la simulación en HYSYS	56
4.11.2.1.	Selección del componente a utilizar en el proceso	56
4.11.2.1.1.	Selección del componente utilizando el botón 'add'	56
4.11.2.2.	Selección del paquete del fluido	60
4.11.2.2.1.	Paquetes termodinámicos disponibles en la biblioteca HYSYS	63
4.11.2.2.2.	Paquetes termodinámicos disponibles en la biblioteca de Aspen Properties	64
4.11.2.2.3.	Paquetes disponibles en la biblioteca COMThermo.....	66
4.11.2.3.	Construcción del diagrama de flujo del proceso químico.....	66

4.11.2.4.	Especificación de las condiciones de las corrientes	71
4.11.2.5.	Especificación de las condiciones de operación de equipo	73
4.11.2.6.	Generar reporte	74
4.11.3.	Operaciones básicas	79
4.11.3.1.	Balance de materia	79
4.11.3.2.	Flujo de fluidos	82
4.11.3.2.1.	Tuberías en horizontal ..	82
4.11.3.2.2.	Bombas	86
4.11.3.2.3.	Compresores	90
4.11.3.3.	Intercambiadores de calor	92
4.11.3.3.1.	Evaporadores	92
4.11.3.4.	Operaciones con reacciones	95
4.11.3.4.1.	Conversión de reacción	95
4.11.3.5.	Optimización de diagramas de flujo ...	101
4.11.3.5.1.	Columna de destilación	101
4.11.3.5.2.	Optimizando con la herramienta 'optimizer'	103
4.12.	Perfil de competencias del catedrático	115
4.13.	Descripción de las condiciones a establecer con la casa matriz para el licenciamiento de un laboratorio	118
CONCLUSIONES		121
RECOMENDACIONES		123
BIBLIOGRAFÍA		125

APÉNDICES 127

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Problema de optimización	15
2.	Diagrama de flujo, selección de universidades	24
3.	Países de las universidades escogidas al azar	27
4.	Ejes temáticos con el nombre de la asignatura	29
5.	Carácter de la asignatura	30
6.	Créditos de la asignatura	31
7.	Módulo en el que se imparte la asignatura.....	31
8.	Objetivos específicos de la asignatura	32
9.	Ventana inicial	54
10.	Entorno de HYSYS.....	55
11.	Componentes puros	57
12.	Componente hipotético método 'create and edit hypos'	58
13.	Componente hipotético método 'create a batch of hypos'	59
14.	Componente sólido hipotético	60
15.	'Fluid package'	61
16.	'Methods assistant'	62
17.	Ventana de construcción del diagrama de flujo del proceso químico a simular	67
18.	'Worksheet'	72
19.	'Workbook'	75
20.	'Workbook tables'	76
21.	Visualización de la tabla de datos en el diagrama de flujo a partir de 'workbook tables'	77

22.	Exportar tablas a Excel	78
23.	Visualización de tabla de datos en Excel	78
24.	Seleccionar la herramienta 'balance'	80
25.	'Conecctions'	81
26.	'Parameters', herramienta 'balance'	81
27.	Datos calculados, herramienta 'balance'	82
28.	'Connection' en tubería	84
29.	'Rating' opción 'sizing'	85
30.	'Rating' opción 'heat transfer'	85
31.	Datos calculados, tuberías.....	86
32.	'Conections' en bombas	88
33.	'Parameters' en bombas	89
34.	Datos calculados, bombas	89
35.	'Parameters', Compresores	91
36.	Datos calculados, compresores	92
37.	'Parameters', evaporador	94
38.	Datos calculados, evaporador	94
39.	Ventana 'reactions'	98
40.	Ventana 'conversion Rxn-1'	98
41.	Ventana 'add Set-1'	99
42.	'Conection', reactor de conversión	99
43.	Especificación de reacciones.....	100
44.	Creación del reporte desde 'workbook'	100
45.	Ventana 1, 'distillation'	106
46.	Ventana 2, 'distillation'	107
47.	Ventana 4, 'distillation'	107
48.	Ventana 5, 'distillation'	108
49.	'Monitor'	108
50.	'Column component fraction'	109

51.	'Specifications'	109
52.	'Optimizer, configuration'	110
53.	'Optimizer, variables'	110
54.	Rangos de pureza	111
55.	'SpreadSheet'	111
56.	'Import variable'	112
57.	'Select import for cell'	113
58.	Maximizando	113
59.	Error de tolerancia.....	114
60.	Reporte	115

TABLAS

I.	Listado de las universidades seleccionadas	25
II.	Nombre de la asignatura cuyo contenido es la simulación de procesos químicos	27
III.	Competencias genéricas.....	34
IV.	Competencias específicas	35
V.	Métodos de enseñanza y aprendizaje.....	41
VI.	Métodos de evaluación	43
VII.	Evaluación formativa	45
VIII.	Evaluación subjetiva.....	45
IX.	Bibliografía básica y complementaria.....	46
X.	Bibliografía más utilizada	51
XI.	Softwares utilizados para la simulación de procesos	52
XII.	Paquetes termodinámicos disponibles en la biblioteca HYSYS	63
XIII.	Paquetes termodinámicos disponibles en la biblioteca de Aspen Properties.....	64
XIV.	Paquetes disponibles en la biblioteca COMThermo.....	66

XV.	Equipos y herramientas disponibles en la categoría 'Common'	68
XVI.	Equipos y herramientas disponibles en la categoría 'Custom'	69
XVII.	Equipos y herramientas disponibles en la categoría 'Refining'	69
XVIII.	Equipos y herramientas disponibles en la categoría 'Columns'	70
XIX.	Equipos y herramientas disponibles en la categoría 'Upstream'	70
XX.	Equipos y herramientas disponibles en la categoría 'Dynamics'	71
XXI.	Paquetes universitarios de AspenONE®	118

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
C_A	Costo de alimentación
C_C	Costo por el condensador
C_R	Costo por el <i>reboiler</i>
U18	Escuela Politécnica Nacional
U22	Instituto Tecnológico de Sonora
U7	Pontificia Universidad Católica de Río de Janeiro
U10	Pontificia Universidad Católica Valparaíso
iP_{Pi}	Precio producto
$\sum_{i=1}^n P_{Pi}$	Sumatoria del precio de los productos desde i hasta n cantidad de productos
U_i	Universidad
U25	Universidad Autónoma de Barcelona
U28	Universidad Autónoma de Madrid
U21	Universidad Autónoma de Nueva León
U4	Universidad Autónoma Gabriel René
U5	Universidad Autónoma Juan Misael
U20	Universidad Autónoma Metropolitana
U19	Universidad Centroamericana José Simeón Cañas
U24	Universidad Complutense de Madrid
U31	Universidad de Alicante
U43	Universidad de Almería
U14	Universidad de Antioquia
U1	Universidad de Buenos aires

U36	Universidad de Cantabria
U17	Universidad de Cuenca
U26	Universidad de Granada
U35	Universidad de Jaume
U11	Universidad de la Frontera
U40	Universidad de La Laguna
U34	Universidad de la Mancha
U39	Universidad de Las Palmas de Gran Canaria
U13	Universidad de los Andes Colombia
U33	Universidad de Málaga
U32	Universidad de Murcia
U8	Universidad de Passo Fundo
U38	Universidad de Rovira y Virgili
U9	Universidad de Santiago de Chile
U30	Universidad de Santiago de Compostela
U29	Universidad de Sevilla
U37	Universidad de Valladolid
U42	Universidad de Vigo
U6	Universidad Federal de Río de Janeiro
U15	Universidad Industrial de Santander
U23	Universidad Metropolitana de Caracas
U12	Universidad Nacional de Colombia
U2	Universidad Nacional de la Plata
U3	Universidad Nacional del Litoral
U27	Universidad Politécnica de Valencia
U44	Universidad Ramon Llull
U41	Universidad Rey Juan Carlos
U16	Universidad Universidad Eafit

GLOSARIO

Aspen ONE	De la compañía AspenTech, es la aplicación líder en el mercado que permite optimizar los procesos de ingeniería; contiene herramientas para simulación, diseño, monitoreo, optimización y planificación financiera de plantas químicas, petroquímicas, metalúrgicas y otras industrias.
Aspen HYSYS	Software utilizado para simular procesos químicos en estado estacionario y dinámico.
AspenTech	Proveedor de software y servicios industriales de procesos con sede en Bedford, Massachusetts.
Iberoamérica	Región integrada por las naciones americanas que pertenecieron como reinos y provincias a los antiguos imperios ibéricos español y portugués, pero en ocasiones incluye también en su designación lo perteneciente o relativo a España y Portugal.
Plan de estudios	Conjunto de actividades de enseñanza-aprendizaje que contiene la descripción general de los contenidos de una carrera o programa de grado o posgrado, la distribución y secuencia temporal de las mismas, el valor en créditos de cada asignatura o agrupamiento de contenidos y la estructura del propio plan.

Malla curricular	Representación gráfica de la distribución de los ciclos de formación y de los cursos contemplados en el plan de estudios; la malla curricular permite hacer visibles las relaciones de prioridad, secuencialización y articulación de los cursos, entre ellos y con los ciclos. Por otro lado, como un esquema de red el cual tiene en la cuenta ciclos, campos, disciplinas y áreas; establece relaciones de grado, secuencias sistemáticas y correlatividades entre los diversos cursos de plan de estudio en forma vertical y horizontal.
Software	Conjunto de programas, instrucciones y reglas informáticas que permiten ejecutar distintas tareas en una computadora.
EES	<i>Engineering equation solver.</i>
EAFIT	Escuela de Administración, Finanzas e Instituto Tecnológico.
IPE	Icarus Process Evaluator.

RESUMEN

En el presente trabajo se propone la creación de una asignatura con contenido de simulación de procesos en el currículo de la carrera de Ingeniería Química, con enfoque en la utilización del software Aspen HYSYS como herramienta de aplicación. Para ello se realizó un análisis sobre la importancia de la asignatura a través de la comparación de las mallas curriculares de 44 universidades de diferentes países de Iberoamérica que contienen la asignatura.

Se recolectaron los programas o guías de estudio de la asignatura con contenido de simulación de procesos de las universidades seleccionadas; a partir de la información obtenida, se realizó un análisis estadístico y posteriormente se realizó una propuesta de las competencias, los objetivos, el contenido, los métodos de enseñanza y aprendizaje, los métodos de evaluación, la bibliografía básica y complementaria y el software utilizado para las prácticas de la asignatura.

Basado en el contenido que se propone desarrollar en la asignatura y en las competencias y objetivos que se desean alcanzar, se construyó la propuesta sobre el perfil y las competencias que debe poseer el profesor que impartirá la asignatura.

Además, se realizó una guía básica sobre el uso del software Aspen HYSYS como herramienta para la simulación y optimización de procesos químicos. También, se recolectó información para obtener la licencia del software.

OBJETIVOS

General

Proponer la creación de la asignatura Simulación de procesos químicos en el currículo de la carrera de Ingeniería Química de la Universidad San Carlos de Guatemala utilizando la aplicación del software Aspen HYSYS.

Específicos

1. Analizar la importancia de la asignatura, a través de una comparación de mallas curriculares de diferentes universidades de Iberoamérica.
2. Analizar qué competencias puede desarrollar el estudiante de ingeniería química a través de la asignatura Simulación de procesos químicos.
3. Analizar los objetivos de la asignatura relacionada con simulación de procesos químicos que se imparte en las diferentes universidades de Iberoamérica para proponer los objetivos de la asignatura.
4. Analizar los contenidos de la asignatura relacionada con simulación de procesos químicos que se imparte en las diferentes universidades de Iberoamérica para proponer los contenidos que se desarrollarán en la asignatura.
5. Analizar los métodos de enseñanza y aprendizaje de la asignatura relacionada con simulación de procesos que se imparte en las diferentes

universidades de Iberoamérica para proponer el método de enseñanza y aprendizaje que se desarrollará en la asignatura.

6. Analizar los métodos de evaluación de la asignatura relacionada con simulación de procesos químicos que se imparte en las diferentes universidades de Iberoamérica para proponer el método de evaluación que se aplicará en la asignatura.
7. Analizar la bibliografía básica y complementaria de la asignatura relacionada con simulación de procesos químicos que se imparte en las diferentes universidades de Iberoamérica para proponer la bibliografía básica y complementaria que se utilizará en la asignatura.
8. Analizar el software utilizado para las prácticas de la asignatura de Simulación de procesos químicos que se imparte en las diferentes universidades de Iberoamérica.
9. Analizar el perfil y competencias que debe poseer el profesor de la asignatura propuesta.
10. Describir el procedimiento para establecer condiciones con la casa matriz para el licenciamiento de un laboratorio.

INTRODUCCIÓN

Ante el gran uso de simuladores de procesos dentro de la industria a nivel mundial y con el fin de que los estudiantes de ingeniería adquieran competencias en el manejo de simuladores y, por tanto, tengan un mejor desempeño en su vida profesional; la asignatura de simulación de procesos químicos se ha ido introduciendo en el currículo de la carrera de Ingeniería Química en diversas universidades de diferentes países.

A través de la simulación de procesos químicos, el estudiante de Ingeniería Química logra integrar y aplicar diversos conocimientos adquiridos durante su formación académica: desde balance de materia, balance de energía, propiedades fisicoquímicas, termodinámica, operaciones unitarias, fenómenos de transporte, hasta el diseño, modelado y optimización de un procesos químico industrial; así también, logra desarrollar un conjunto de habilidades y capacidades que hace al estudiante más competitivo.

El objetivo de este trabajo es proponer la creación del curso Simulación de procesos químicos en el currículo de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, con enfoque en el uso del simulador comercial Aspen HYSYS.

1. ANTECEDENTES

Giovana Ruveli Pedro Reyes en el año 2014 presentó un análisis comparativo por exclusión para descubrir posibles debilidades en el plan de estudio de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, entre las cuales se encontró la falta de la asignatura de simulación de procesos.

Años anteriores se han realizado trabajos en los cuales se hace enfoque a la aplicación de un simulador de procesos; a continuación, se mencionan algunos:

Jose Alberto Franco Fernández en el año 2006 diseñó un simulador por computadora de procesos de evaporación en una línea de evaporadores de múltiple efecto.

Roberto Andrés Díaz Durán en el año 2006 implementó un simulador de modelos del comportamiento de equilibrio vapor-líquido de sistemas binarios.

Efrén Carlos Velázquez Herrera en el año 1997 diseñó un simulador del proceso de producción del carbonato de calcio con granillo de trigo, basado en el índice de mezcla y prueba piloto al utilizar mezcladores gravitacionales tipo tambor con paletas.

Manolo Martínez Lobos en el año 1993 diseñó un programa para el análisis de regresión de dos y tres variables para datos experimentales de laboratorio.

José Oscar Vasquez Antillón en el año 1990 realizó el estudio de comparación entre el mezclado físico de sólidos granulares y la simulación del proceso en una computadora personal.

Edgar Rodolfo Hernández Ardón en el año 1989 realizó la adaptación de programas de computación para el equilibrio líquido-vapor con los modelos NRTL y UNIFAC y simulación de una torre de destilación. Cada uno de los programas fue diseñado con el objetivo de que su operación fuera sencilla y rápida, ya que cada uno cuenta con un banco de datos que hace que la información requerida sea solo la fundamental.

Hugo Scheel Aguilar en el año 1982 desarrolló un programa de computación para simular el crecimiento por tandas de la levadura *sacharomyces cerevisiae*; el programa se diseñó de tal manera que su operación fuera sencilla e interactiva; su campo de aplicación es la producción de levadura, preparación de inóculo para un cultivo y la selección y el diseño de equipos de fermentación.

Daniel Elías Malouff Fernández en el año 1970 desarrolló algunos programas de computación para la resolución de problemas de destilación binaria.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Simulación de procesos

La simulación consiste en realizar una imitación de una acción, en Ingeniería Química la simulación es útil para estimar y realizar análisis de propiedades físicas de un componente, para predecir el comportamiento de un proceso de transformación de materia prima a un producto terminado y para realizar estudios de optimización y sensibilidad. Los simuladores de procesos químicos están naturalmente vinculados al cálculo de los balances de materia, energía y cantidad de movimiento en procesos químicos ya sea en estado estacionario o dinámico; también, están dotados para realizar el dimensionamiento y la obtención de costo de los equipos involucrados en el proceso para finalmente realizar una evaluación preliminar del proceso.

En la simulación convergen diversos conocimientos adquiridos durante la formación académica de la carrera: análisis de los métodos numéricos para la solución de ecuaciones algebraicas y diferenciales, estimación de propiedades fisicoquímicas y termodinámicas, operaciones unitarias, fenómenos de transporte, diseño y modelado de procesos.

La simulación de procesos químicos es un método científico en la que se deben seguir una serie de procedimientos e indicaciones para cumplirlo: definición del sistema en el que se establecen los elementos que se deben simular y la formulación del modelo que mejor describe el fenómeno; contar con un banco de datos es de importancia en la simulación de un proceso químico; este banco de datos se forma a partir de los experimentos que a través del

tiempo se han realizado y han sido documentados, por ejemplo, los modelos de Van Deer Vals, Antoine, Peng Robinson, etc.; esta información guardada sirve como apoyo a nuevas generaciones de experimentos científicos que continúen la labor.

2.1.1. Historia de la simulación de procesos

Al principio, la simulación de procesos se basaba principalmente en circuitos analógicos, utilizando los fenómenos de analogía. En efecto, la teoría de sistemas muestra que diversos principios físicos tienen asociados modelos matemáticos equivalentes. Por ejemplo, el mismo conjunto de ecuaciones diferenciales pueden describir ciertos circuitos eléctricos, circuitos hidráulicos, procesos de transferencia tanto de materia como de energía y cantidad de movimiento. En consecuencia, podría resultar conveniente simular analógicamente el comportamiento de un sistema o proceso químico, observando la evolución de las variables equivalentes en un circuito eléctrico, ya que son fácilmente medibles.

Posteriormente, a partir de la innovación tecnológica en todas las ramas de la ingeniería y el uso masivo de la computadora digital, la simulación analógica evoluciona lentamente a la simulación digital, desapareciendo su uso en muchas aplicaciones. A partir de 1981 aparecen los programas para la simulación de procesos químicos en computadora: DESIGN II, ASPEN, SIMSCI, CHEMCAD, entre otros.

2.1.2. Clasificación de los métodos de simulación

La simulación es un proceso en el cual se proponen ciertos valores de entrada a un simulador o programa de simulación para obtener ciertos

resultados o valores de salida, tales que estiman el comportamiento del sistema real bajo esas condiciones.

Las herramientas de simulación pueden ser clasificadas según diversos criterios: según el tipo de procesos (*batch* o continuo), si involucra el tiempo (estacionario o dinámico), si maneja variables estocásticas o determinísticas, variables cuantitativas o cualitativas, entre otros.

A continuación, se explicarán las características de los distintos tipos de herramientas de simulación más utilizadas:

2.1.2.1. Simulación cualitativa y cuantitativa

Es de importancia principal diferenciar la simulación cualitativa y la cuantitativa; la simulación cualitativa tiene por objeto principalmente el estudio de relaciones casuales y las tendencias temporales cualitativas de un sistema, también, la propagación de perturbaciones a través de un proceso dado. Se le llama valores cualitativos de una variable, a diferencia del valor numérico cuantitativo, a su signo; ya sea absoluto, o bien con relación a un valor dado o de referencia. Por lo tanto, en general, se trabaja con valores tales como +,-,0. La aplicación de la simulación cualitativa es amplia, como el análisis de tendencias, supervisión y diagnóstico de fallas, análisis e interpretación de alarmas, control estadístico de procesos entre otros.

La simulación cuantitativa es aquella que describe numéricamente el comportamiento de un proceso, a través de un modelo matemático del mismo. Para ello se procede a la resolución de los balances de materia, energía y cantidad de movimiento, junto a las ecuaciones de restricción que imponen aspectos funcionales y operacionales del sistema.

2.1.2.2. Simulación estacionaria y dinámica

La simulación en estado estacionario implica resolver los balances de un sistema independiente del tiempo, por lo que el sistema de ecuaciones reflejará en el modelo las variaciones de las variables de interés con las coordenadas espaciales (modelos a parámetros distribuidos); entonces, se utilizará un sistema de ecuaciones diferenciales a derivadas parciales (según el número de coordenadas espaciales consideradas). Por ejemplo, la variación radial de la composición en un plato en una columna de destilación, la variación de las propiedades con la longitud y el radio en un reactor tubular, etc. Por lo general, en simuladores comerciales (no específicos) se utilizan modelos a parámetros concentrados.

La simulación dinámica plantea los balances en su dependencia con el tiempo, ya sea para representar el comportamiento de equipos *batch* o bien para analizar la evolución que se manifiesta entre dos estados estacionarios para un equipo o una planta completa. En este caso, el modelo matemático estará constituido por un sistema de ecuaciones diferenciales ordinarias cuya variable diferencial es el tiempo, en el caso de modelos a parámetros concentrados. En el caso contrario, se deberá resolver un sistema de ecuaciones diferenciales a derivadas parciales, abarcando tanto las coordenadas espaciales como la temporal (parámetros distribuidos).

2.1.3. Simuladores de procesos químicos complejos

Es importante diferenciar la noción de un simulador general de procesos químicos de un programa de simulación de equipos o unidades operacionales aisladas. En efecto, mientras que para estas últimas solo se requiere el modelo del equipo y un sistema de entrada/salida de datos para comunicarse

eficientemente con el usuario, programar un simulador de uso general implica varios problemas adicionales.

Como primer punto deberá contemplarse un banco de modelos individuales para simular distintas operaciones o equipos de proceso. Deberá programarse la forma de interacción de los equipos de acuerdo al diagrama de flujo de la planta; además de la metodología de ingreso de los datos, tanto de la estructura (diagrama de flujo) como de cada unidad individual. Obviamente, dependerá del tipo de estructura del diagrama (con reciclo, lineal) la complejidad matemática para resolver los balances correspondientes, ya que por lo general deberá recurrirse a métodos iterativos. Deberán utilizarse métodos numéricos para la resolución de sistemas de ecuaciones no lineales tanto algebraicas como diferenciales, también, técnicas de rasgado, particionado y ordenamiento.

Los aspectos vinculados a los cálculos de estimación de propiedades fisicoquímicas difieren si se plantea el problema de un equipo procesando una mezcla determinada o bien un sistema generalizado capaz de simular diversos procesos de separación (por ejemplo, mezclas ideales, no ideales, etc.). En este caso, deberá contarse con un sistema de estimación de propiedades generalizado, debe contar con aptitud para calcular las propiedades fisicoquímicas y termodinámicas (viscosidad, densidad, capacidades caloríficas, entalpías, constantes de equilibrio, etc.) tanto para sustancias puras como para mezclas.

Diseñar un simulador es una tarea continua ya que los sistemas comerciales incorporan constantemente nuevos métodos de resolución o de estimación de propiedades generando así nuevas versiones del software periódicamente.

2.1.4. Tipos de simuladores de procesos

Actualmente, los simuladores de procesos se pueden clasificar en los siguientes tipos según la estructura bajo la cual se plantea el modelo matemático que representa el proceso a simular:

- Simuladores globales u orientados a ecuaciones
- Simuladores modulares secuenciales
- Simuladores híbridos o modulares secuencial-simultáneo

2.1.4.1. Simuladores globales u orientados a ecuaciones

En la simulación global u orientada a ecuaciones se plantea el modelo matemático que representa al proceso construyendo un gran sistema de ecuaciones algebraicas que representa a todo el conjunto o planta a simular. De esta forma, el problema se traduce en resolver un gran sistema de ecuaciones algebraicas, por lo general, altamente no lineales. Como ejemplo puede citarse que en problemas típicos de simulación de columnas de destilación por métodos rigurosos el sistema de ecuaciones puede llegar a contener más de mil variables. De ello se desprende la magnitud del sistema que represente el modelo de una planta completa típica.

Los primeros simuladores comerciales adoptaban principalmente la arquitectura modular en detrimento de la global, debido a que no existían los medios apropiados para la resolución numérica de sistemas de ecuaciones de gran dimensión. El principal problema asociado a la filosofía de resolución global u orientada a ecuaciones es la convergencia del sistema y la consistencia de las soluciones que se encuentran. En efecto, los sistemas

altamente no lineales como los que corresponden a modelos de plantas químicas pueden, por ejemplo, producir múltiples soluciones. Además, la solución numérica para grandes sistemas exige valores iniciales cercanos al valor real. Históricamente, estas dificultades han sido la causa que ha limitado el desarrollo de este tipo de simuladores en forma masiva.

Una de las críticas fundamentales para la operabilidad de los mismos que se realizaba a menudo por parte de usuarios no entrenados, era la imposibilidad de identificar los sectores de la planta en correspondencia con el sistema de ecuaciones que lo representa, dado que una vez que se hubo armado el sistema total, éste está integrado y se pierde la correspondencia biunívoca entre el equipo y el subsistema de ecuaciones que lo representa. De esta manera, si existieran inconvenientes durante la simulación, resulta difícil asignar el problema a un sector específico de la planta, o bien inicializar convenientemente. Una ventaja importante es que puede lograrse una velocidad de convergencia cuadrática, esto es, mayor que en los simuladores secuenciales, como se verá más adelante.

Además, dado que el sistema se plantea orientado a ecuaciones, es posible fácilmente incorporar las expresiones de restricción para definir problemas de optimización en forma directa, ya que solo basta con plantear las restricciones y la función de optimización. Esta flexibilidad es imposible en los simuladores secuenciales modulares, debido a que los módulos están orientados y definidos en forma rígida, esto es, resulta imposible agregar restricciones y/o variables, además de la expresión analítica de la función de optimización, debiéndose proceder tipo caja negra.

Las principales características de los simuladores globales u orientados a ecuaciones son las siguientes:

- Cada equipo se representa por las ecuaciones que lo modelan. El modelo es la integración de todos los subsistemas.
- Desaparece la distinción entre variables de proceso y parámetros operativos, por lo tanto, se simplifican los problemas de diseño.
- Resolución simultánea del sistema de ecuaciones algebraicas (no lineales) resultante.
- Mayor velocidad de convergencia.
- Necesita una mejor inicialización (mejor cuanto mayor sea el problema a resolver).
- A mayor complejidad, menor confiabilidad en los resultados y más problemas de convergencia (soluciones sin sentido físico).

2.1.4.2. Simuladores modulares secuenciales

Los simuladores modulares secuenciales se basan en módulos de simulación independientes que siguen aproximadamente la misma filosofía que las operaciones unitarias, es decir, cada equipo: bomba, válvula, intercambiadores, etc., son modelados a través de modelos específicos para los mismos; además, el sentido de la información coincide con el flujo físico en la planta. En este método de simulación se tiene como ventaja el hecho de que cada sistema de ecuaciones es resuelto con una metodología que resulta adecuada para el mismo, ya que es posible analizar bajo todas las circunstancias posibles, el comportamiento del método de resolución propuesto; esto es sistemas ideales, no ideales, topología diversa del equipo, distintas

variantes, etc. Algunos ejemplos como columnas de destilación, equipos de evaporación flash e intercambiadores de calor. Dado que se puede analizar específicamente el desempeño de los distintos métodos de resolución es factible lograr un modelo robusto y eficiente para cada módulo específico.

Bajo este método cada equipo deberá plantearse su modelo matemático. Obviamente, para encarar la solución de cualquier sistema de ecuaciones deben diferenciarse los valores conocidos y los que deben calcularse, todo esto teniendo en cuenta los grados de libertad, a fin de obtener un sistema con solución única.

El enfoque en la teoría secuencial modular por definición supone que se conocen las variables de las corrientes de entrada, mientras que deben calcularse las corrientes de salida y los correspondientes parámetros de operación si correspondiera. Esto impone cierta rigidez que sacrifica, según sea el caso, la posibilidad de encontrar asignaciones tales que minimicen el tiempo de cómputo (secuencias a cíclicas de resolución del sistema de ecuaciones asociado). Sin embargo, esto resulta conveniente desde otro punto de vista, ya que de esta manera se impone una dirección al flujo de información entre módulos. Por otra parte, según ya se vio para el análisis de los grados de libertad, las combinaciones posibles de especificación de variables son enormes, incrementándose en forma dramática la cantidad de módulos a disponer si se quisiera cubrir todas las posibilidades.

Por ejemplo, en los intercambiadores de calor en contracorriente si se suponen conocidas las corrientes de entrada, (esto es la presión, la temperatura, la composición y el estado de fase, vapor, líquido o mezcla); dado que para calcular las corrientes de salida el sistema de ecuaciones correspondientes queda determinado solo cuando se asignan ciertos

parámetros de equipo, será necesario que el usuario los asigne como datos. Una opción simplificada de cálculo implica la necesidad de fijar como parámetros de equipo el factor U , (producto del coeficiente global de transferencia y el área de intercambio).

En general, fijada la orientación en el cálculo (esto es dadas las entradas calcular las salidas del equipo), lograr que el sistema de ecuaciones sea compatible y tenga tantas incógnitas como ecuaciones no implica necesariamente una única opción, ya que debemos analizar las variables o parámetros de operación del equipo. En efecto, en la mayoría de los casos existirán varias posibilidades de asignación de parámetros de equipos. Además, existen variantes para cada módulo que tienen en cuenta varios factores, como ser topología, por ejemplo, el número de entradas y salidas a una torre de destilación, o si hay condensadores parciales o totales, o bien el nivel de las hipótesis realizadas (si se considera hidráulica de platos o no, pérdidas de calor al ambiente, entre otros).

En resumen, en un simulador modular se define cada módulo por un sistema de ecuaciones independiente que se resuelve de la manera óptima, subordinados sin embargo a las limitaciones que ha impuesto la especificación de variables seleccionada. Esto implica una ventaja en el sentido que se podrían utilizar progresivamente distintos niveles de cálculo dependiendo de la etapa del proyecto en la que se realiza la simulación, o bien en función de los datos disponibles hasta el momento, aprovechando el conocimiento que proviene de la experiencia y análisis del método de convergencia para cada caso en particular. No obstante, uno de los problemas que se originan es la conexión de los módulos según el proceso a simular y las rigideces que ello impone.

La representación del diagrama de flujo del proceso se traduce a un diagrama similar, llamado diagrama de flujo de información (DFI). Este diagrama matemáticamente es un dígrafo, en el cual los nodos son los módulos de equipos conectados uno a uno a través de las corrientes que los vinculan, las cuales se representan como arcos dirigidos. Estas corrientes de información, por lo general, coinciden con las corrientes físicas de la planta, pero no necesariamente en todos los casos. Lo mismo sucede con los equipos (nodos del dígrafo). En algunas oportunidades, será necesario representar un equipo real de la planta mediante la conexión de varios módulos disponibles en la biblioteca de módulos del simulador.

Las principales características de los simuladores modulares secuenciales son los siguientes:

- Modelos individuales resueltos eficientemente.
- Fácilmente comprendido por ingenieros no especialistas en simulación.
- Métodos de convergencia robustos (sustitución directa, Wegstein, etc).
- La información ingresada por el usuario (relacionable con equipos o corrientes) resulta fácilmente verificable e interpretable.
- Los problemas de diseño (selección de parámetros) son más difíciles de resolver.
- Se incrementa la dificultad cuando se plantea un problema de optimización (funcionan como cajas negras).

- Poco versátiles, pero muy flexibles, muy confiables y bastante robustos.

2.1.4.3. Simuladores híbridos o modulares secuencial-simultáneo

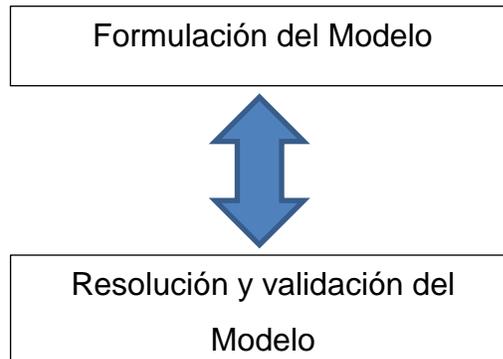
Los simuladores híbridos resultan de la combinación entre la estrategia modular y la orientada a ecuaciones de tal forma que se aprovechan los aspectos positivos de ambas metodologías. Es también llamada de 2 niveles jerárquicos debido a que una de las variables es tratada simultáneamente y el otro secuencialmente.

2.2. Optimización

Una vez se tienen las ideas de simulación de procesos y de la estructura de los modelos de proceso, se considerará un aspecto clave en diseño de procesos. El objetivo de muchas simulaciones en ingeniería es el desarrollo de un modelo predictivo que se pueda usar en mejorar el proceso.

La optimización puede ser definida como el proceso de seleccionar, a partir de un conjunto de alternativas posibles, aquella que mejor satisfaga los objetivos propuestos. Para resolver un problema de optimización se requieren dos etapas principales:

Figura 1. **Problema de optimización**



Fuente: elaboración propia.

La formulación del modelo de optimización no es un procedimiento formal estructurado, sino más bien es un proceso que requiere de experiencia y creatividad. Una vez generado el modelo, la etapa siguiente es resolver y validar dicho modelo. Esta etapa puede considerarse suficientemente formalizada puesto que los modelos de problemas de optimización han sido muy estudiados y se han desarrollado innumerables métodos y estrategias para resolverlos.

En un nivel práctico, se puede definir el término optimización como: “dado un sistema o proceso, encontrar la mejor solución al mismo con restricciones”¹

Para cuantificar la mejor solución se necesita primero una función objetivo que sirva de indicador de la bondad de la solución. Típicamente en problemas relacionados con la industria química y de procesos son: costes de capital, operación, rendimiento del producto, beneficios globales, entre otros.

¹ LUQUE RODRÍGUEZ, Susana; VEGA GRANDA, Aurelio B. *Simulación y optimización avanzadas en la industria química y de procesos: HYSYS*. p. 196.

Los valores de la función objetivo se determinan por manipulación de las variables del problema. Las cuales pueden representar físicamente tamaños de equipo o condiciones de operación (temperatura, presión, caudal, composición etc.). Los límites de operación del proceso, pureza del producto, validez del modelo y relaciones entre las variables del proceso han de ser consideradas como restricciones y los valores de las variables se han de ajustar de forma que satisfagan dichas restricciones. Frecuentemente, las variables de proceso se clasifican en:

- Variables de decisión: representa los grados de libertad de la optimización.
- Variables dependientes: que se pueden resolver mediante las restricciones.

En el desarrollo del problema de optimización, esta distinción es importante, tanto desde un punto de vista conceptual como en problemas de optimización de procesos modelizados en modo modular.

En muchos casos, la búsqueda de un diagrama de flujo mejor mediante la manipulación de las variables de decisión se lleva a cabo mediante ensayo y error. En lugar de esto, esté interesados en métodos de optimización que impliquen una aproximación sistemática para encontrar el diagrama de flujo óptimo. Las áreas relacionadas con la teoría y los conceptos de optimización son la programación matemática y la investigación operacional:

- Programación matemática: caracterización de las propiedades teóricas de los problemas de optimización y algoritmos; incluyendo existencia de soluciones, convergencia hacia estas soluciones y velocidades de convergencia locales.

- Investigación operativa: aplicación e implementación de métodos de optimización para su uso eficaz y fiable.
- Ingeniería de procesos: aplicación de métodos de optimización a problemas del mundo real

2.2.1. Formulación del modelo

El modelado es un proceso esencialmente cualitativo y requiere de la habilidad y la experiencia de quien desarrolla el modelo, en términos generales se puede definir los siguientes pasos a seguir para la formulación del modelo:

- Identificar las variables de decisión
- Identificar y/o fijar las restricciones
- Definición de los objetivos
- Análisis de la Información disponible

2.2.1.1. Identificar las variables de decisión

Las variables de decisión representan las alternativas de decisión del problema. Pertenecen a la propia naturaleza del problema y no pueden ser establecidas arbitrariamente

2.2.1.2. Identificar y fijar las restricciones

Las restricciones de un problema de optimización definen el conjunto de valores que pueden tomar las variables de decisión. En el caso de restricciones de igualdad, estas además generan dependencia entre variables, reduciendo los grados de libertad del problema. El conjunto de todas las variables del

problema se divide así en el subconjunto de variables independientes y el subconjunto de las variables dependientes.

Las restricciones pueden pertenecer a la naturaleza del problema, como lo son las restricciones físicas (límites de presión y temperatura, equilibrio líquido vapor, etc.), pero también puede haber restricciones fijadas arbitrariamente por quien debe decidir, según su propio criterio.

2.2.1.3. Definición de los objetivos

Los objetivos no pertenecen a la naturaleza del problema, sino que son fijados arbitrariamente por quien debe decidir. El mismo puede definir un único objetivo o varios objetivos a ser considerados simultáneamente. Por ejemplo, se suelen definir como objetivos: la rentabilidad del proceso, la calidad del producto, la seguridad del proceso, la satisfacción del cliente, etc. En este capítulo, solo se considerarán los problemas con objetivo único.

2.2.1.4. Análisis de la información disponible

La información acerca de los parámetros del proceso permitirá definir el criterio de decisión a adoptar. Si se conoce con certeza el valor de los parámetros, el criterio seleccionado será el de maximizar o minimizar el objetivo propuesto. En el extremo opuesto es posible encontrar parámetros cuyo valor es incierto. Usualmente, en estos casos con algún criterio es posible definir para cada parámetro sujeto a incertidumbre un rango de valores posibles, quedando así definida una región paramétrica. Los criterios de decisión a utilizar en estos problemas son generalmente conservativos, aspirando a asegurar lo mejor para los peores valores que pueden ocurrir.

En el caso que para estos parámetros cuyo valor está sujeto a incertidumbre se dispusiera de una función de densidad de probabilidad, el tomador de decisión podría arriesgarse a tomar decisiones en función de esa información probabilística, adoptando como criterio de decisión de optimizar el valor esperado del objetivo elegido.

Adoptado el criterio de decisión, el paso que sigue es expresar las restricciones y el objetivo como funciones matemáticas de las variables de decisión. Se obtiene así un modelo matemático del problema de optimización. El modelo matemático resultante tendrá la siguiente estructura general:

Optimizar $f(x)$

Sujeto a:

$$g(x) \leq b_i \quad i = 1, \dots, u$$

$$g(x) \geq b_i \quad i = u + 1, \dots, v$$

$$g(x) = b_i \quad i = v + 1, \dots, m$$

Donde:

- $f(x)$ y $g(x)$ son funciones definidas en el espacio real n-dimensional
- $f(x)$ es la función objetivo del modelo de optimización
- $g(x)$ son las restricciones de desigualdad e igualdad del modelo

2.3. Competencias educativas

El aprendizaje por competencias se basa en una combinación de conocimientos, habilidades de toda índole, actitudes y valores que capacitarán a un titulado para saber actuar, aprovechar y utilizar los recursos disponibles

para un fin determinado. El despliegue de una competencia depende del individuo que la demuestra y de las condiciones y recursos disponibles en el medio para una ejecución valiosa, dentro del marco de expectativas respecto al individuo en un entorno determinado. El objetivo de la formación en competencias es superar las deficiencias que tradicionalmente ha presentado la enseñanza superior en la formación de futuros profesionales.

2.3.1. Clasificación de las competencias educativas

Existen distintos tipos de competencias clasificados según su grado de generalidad o especificidad:

- **Genéricas o transversales:** transferibles a una amplia variedad de funciones y tareas, no van unidas a ninguna disciplina, sino que pueden aplicar a una variedad de áreas de materias y situaciones: comunicación, resolver problemas, razonamiento, capacidad de liderazgo, creatividad, trabajo en equipo, motivación y capacidad de aprender. De acuerdo con su carácter transversal, son compartidas por las distintas materias que integran los módulos del grado y pueden ejercitarse en equipo o individualmente. Por eso, dependiendo de este factor, se estaría desarrollando en paralelo la capacidad de trabajo autónomo o de trabajo en equipo.
- **Específicas:** son aquellas propias de la titulación, especialización y perfil laboral para los que se prepara al estudiante.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

Habiendo identificado el objetivo de la investigación y delimitado los objetivos específicos, se procede a comentar el diseño metodológico seguido considerando aspectos tales como el enfoque de la investigación, la población analizada y los instrumentos utilizados, así como el proceso de análisis de la información.

3.1. Enfoque de la investigación

La investigación que se presenta tiene un enfoque interpretativo, por la naturaleza del hecho investigado, por la forma de abordar el análisis y la interpretación de los datos obtenidos y por la metodología cualitativa que se usa para la obtención de la información; esta es el análisis de documentos por medio de los programas de asignatura de cada una de las carreras de ingeniería química de las 44 universidades escogidas al azar de Iberoamérica.

3.2. Población y muestra

De acuerdo a Goetz y Le Compte, “se concibe la población de un estudio cualitativo no probabilístico como un conjunto de participantes, delimitados mediante criterios relevantes con el objeto de determinar las variables”². El conjunto de carreras de Ingeniería Química analizadas de las diferentes universidades fueron 60 de las cuales 16 no contaban con un curso de la temática de simulación en su plan de estudio; mientras que 44 si contaban con

² ÁLVAREZ ÁLVAREZ, Carmen. *La etnografía como modelo de investigación en educación*. p. 18.

por lo menos una asignatura sobre esa temática. Los programas o guías de curso de las 44 universidades fueron tratados con la técnica cualitativa de análisis de documentos que consideran como variables independientes el país y la universidad; y como variables dependientes el nombre de la asignatura, los objetivos generales y específicos de la asignatura, el contenido planteado en la asignatura, los métodos de enseñanza y de evaluación, las competencias genéricas, básicas y específicas, la bibliografía básica y complementaria sugerida, el software utilizado, el ranking web de las universidades, el eje temático del título de la asignatura y el carácter de la asignatura.

3.3. Instrumento de recogida de datos

Los instrumentos de recogida de información son aquellos de los que nos valemos para observar, anotar y analizar la información requerida. En la investigación se analizaron solamente las variables escogidas de cada uno de los programas de las universidades escogidas por el método de muestreo no probabilístico por conveniencia los cuales se presentan en los resultados y su interpretación de esta investigación. Para lo cual se utilizó como instrumento una tabla de cotejo.

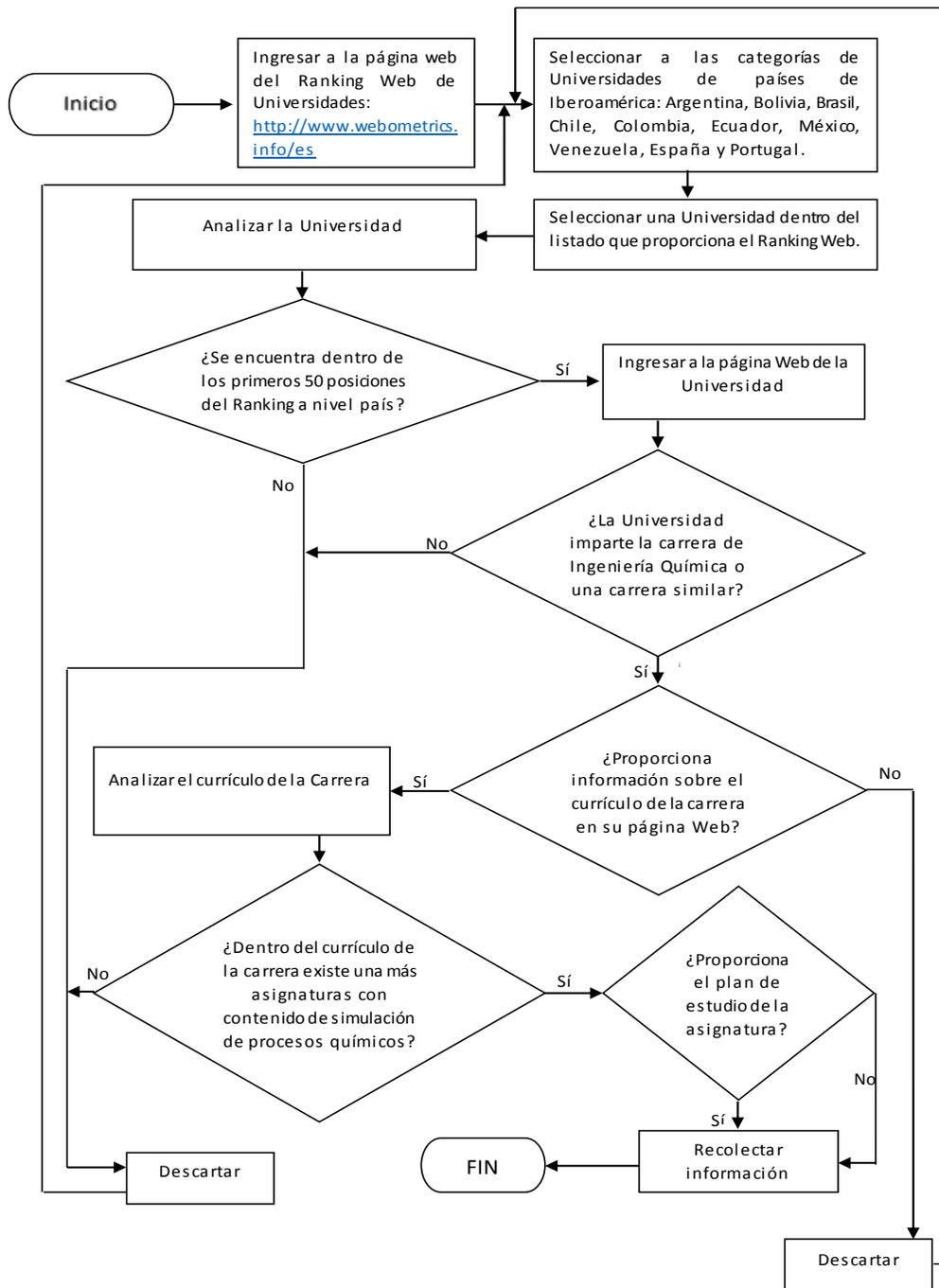
3.4. Recursos materiales

Los recursos físicos que fueron utilizados durante la investigación son los siguientes: equipo de computación, programas de las universidades escogidas al azar impresos, libros de texto sobre la temática, acceso a páginas web por medio de internet de las universidades escogidas por conveniencia, trabajos de graduación de referencia (ver figura 2).

3.5. Recursos Humanos

En la asesoría del trabajo, Ing. Willimas Guillermo Alvarez Mejía, en la revisión del trabajo, Ing. Victor Manuel Monzón Valdez y en la elaboración del mismo Linda Esther Xiquin Jiménez.

Figura 2. Diagrama de flujo, selección de universidades



Fuente: elaboración propia.

4. RESULTADOS E INTERPRETACIÓN

Se seleccionaron cuarenta y cuatro Universidades de Iberoamérica que imparten la carrera de Ingeniería Química a nivel posgrado, cada una en diferente posición en el *Ranking Web* Nacional y mundial, el criterio de selección la presencia de una asignatura con contenido de simulación de procesos químicos.

Tabla I. **Listado de las universidades seleccionadas**

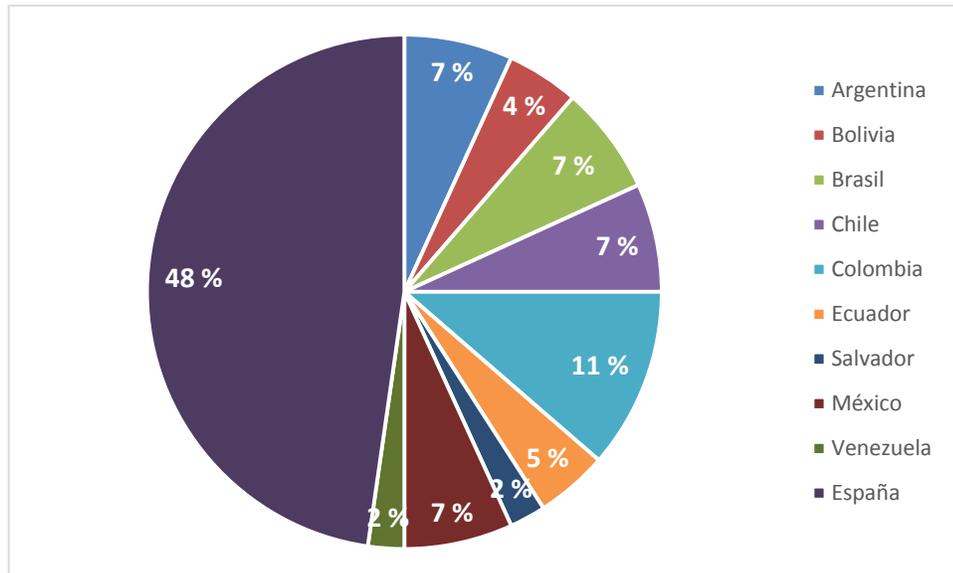
Núm.	País	Universidad	Ranking web nacional	Ranking web mundial
1	Argentina	Universidad de Buenos Aires	1	314
2	Argentina	Universidad Nacional de la Plata	2	543
3	Argentina	Universidad Nacional del Litoral	5	1301
4	Bolivia	Universidad Autónoma Gabriel René Moreno	4	5277
5	Bolivia	Universidad Autónoma Juan Misael Saracho	9	11311
6	Brasil	Universidad Federal de Río de Janeiro	15	723
7	Brasil	Pontificia Universidad Católica de Río de Janeiro	16	55
8	Brasil	Universidad de Passo Fundo	55	1961
9	Chile	Universidad de Santiago de Chile	4	1211
10	Chile	Pontificia Universidad Católica Valparaíso	8	1364
11	Chile	Universidad de la Frontera	10	1627
12	Colombia	Universidad Nacional de Colombia	1	598
13	Colombia	Universidad de los Andes Colombia	2	615
14	Colombia	Universidad de Antioquia	3	895
15	Colombia	Universidad Industrial de Santander	9	1940
16	Colombia	Universidad EAFIT	12	2045

Continuación de la tabla I.

17	Ecuador	Universidad de Cuenca	5	2284
18	Ecuador	Escuela Politécnica Nacional	6	2311
19	Salvador	Universidad Centroamericana José Simeón Cañas	2	4199
20	México	Universidad Autónoma Metropolitana	3	770
21	México	Universidad Autónoma de Nueva León	9	1175
22	México	Instituto Tecnológico de Sonora	55	4062
23	Venezuela	Universidad Metropolitana de Caracas	11	3753
24	España	Universidad Complutense de Madrid	3	151
25	España	Universidad Autónoma de Barcelona	4	168
26	España	Universidad de Granada	6	178
27	España	Universidad Politécnica de Valencia	7	227
28	España	Universidad Autónoma de Madrid	8	230
29	España	Universidad de Sevilla	9	234
30	España	Universidad de Santiago de Compostela	13	413
31	España	Universidad de Alicante	14	424
32	España	Universidad de Murcia	16	436
33	España	Universidad de Malaga	19	458
34	España	Universidad de Castilla de la Mancha	20	474
35	España	Universidad de Jaume	22	495
36	España	Universidad de Cantabria	25	585
37	España	Universidad de Valladolid	27	611
38	España	Universidad De Rovira y Virgili	29	616
39	España	Universidad de Las Palmas de Gran Canaria	30	645
40	España	Universidad de La Laguna	32	682
41	España	Universidad Rey Juan Carlos	35	727
42	España	Universidad de Vigo	44	911
43	España	Universidad de Almería	45	945
44	España	Universidad Ramon Llull	49	1214

Fuente: elaboración propia.

Figura 3. Países de las universidades escogidas al azar



Fuente: elaboración propia.

4.1. Ejes temáticos con el nombre de la asignatura

Tabla II. Nombre de la asignatura cuyo contenido es la simulación de procesos químicos

Ui	Nombre de la asignatura	Cantidad
U1	Simulación de plantas químicas	1
U2	Simulación de procesos I y II	1
U3	Simulación	1
U5	Simulación y operación de proceso	1
U10, U16, U17, U23, U44	Simulación de procesos	5
U14	Herr. Comp. para simulación de procesos	1
U15, U18, U25, U43	Simulación de procesos químicos	4
U19	Simulación dinámica de procesos	1
U21	Simulación de procesos	1
U22	Simulación aplicada	1
U27	Análisis y simulación de procesos	1
U34	Simulación avanzada de procesos químicos	1

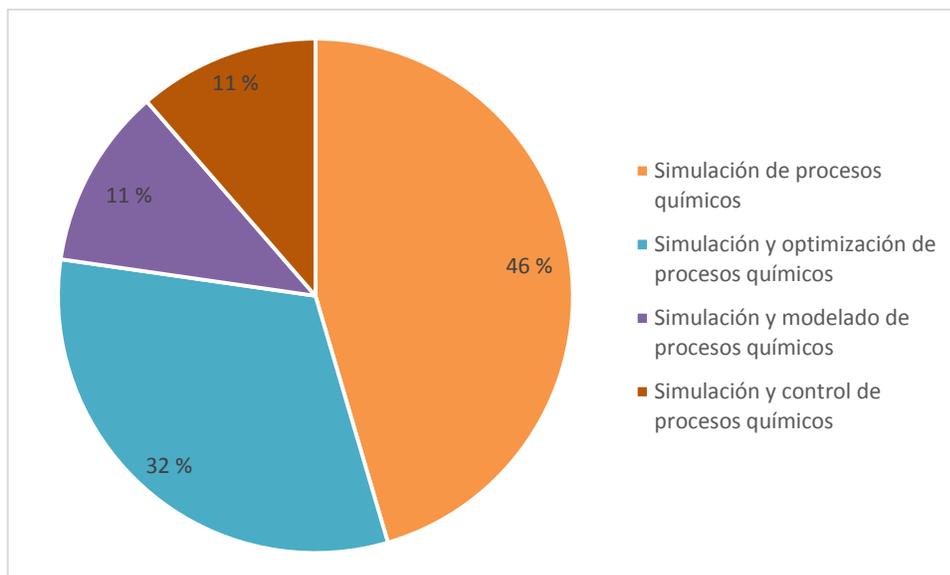
Continuación de la tabla II.

U38	Simulación y análisis de procesos químicos	1
U4, U7, U28, U29, U35, U36, U39	Simulación y optimización de procesos	7
U30	Simulación y optimización	1
U31	Simulación, optimización y diseño de procesos químicos	1
U32, U33, U40, U41, U42	Simulación y optimización de procesos químicos	5
U6	Modelado y simulación	1
U9	Modelación y simulación de procesos químicos	1
U11	Modelación y simulación de procesos	1
U12	Modelamiento y simulación de procesos químicos y bioquímicos	1
U13	Introducción al modelamiento y simulación	1
U8, U20, U24, U26	Simulación y control de procesos	4
U37	Control y simulación de procesos químicos	1

Fuente: elaboración propia.

Al analizar el nombre que cada universidad le asignó al curso con contenido de simulación de procesos químicos se observó que adicional al eje temático de simulación este se complementa con otros 3 ejes temáticos: modelado, optimización y control del proceso.

Figura 4. Ejes temáticos con el nombre de la asignatura



Fuente: elaboración propia.

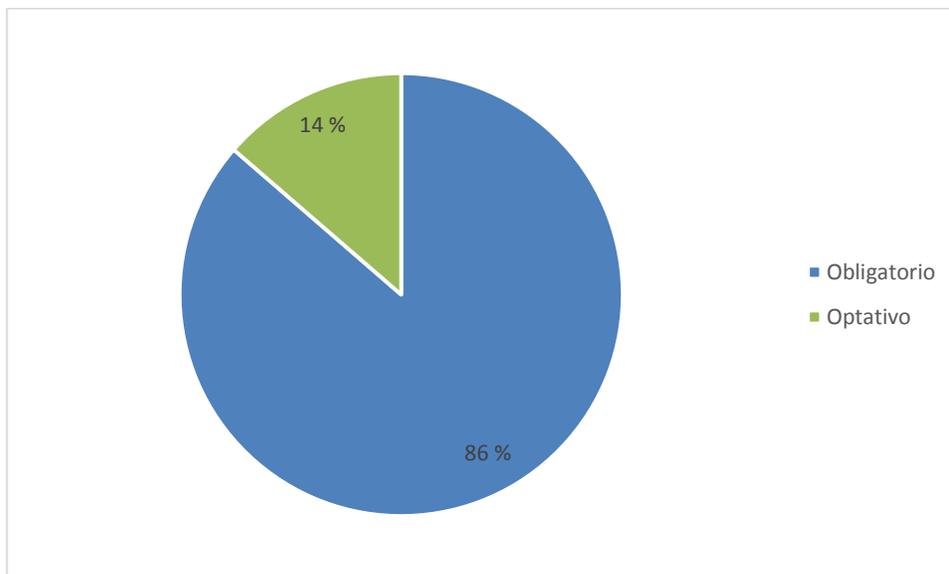
4.2. Carácter y créditos atribuidos a la asignatura

El 86 % de las universidades seleccionadas considera la asignatura con contenido de simulación de procesos químicos de carácter obligatorio debido a que por medio de esta asignatura es posible integrar todos los conceptos fundamentales de la carrera de ingeniería química: principios de termodinámica (FQ-1, FQ2, TD3, TD4), balances de materia (IQ-1), mecánica de fluidos (IQ-2), balances de energía (IQ-3), equipos de operaciones unitarias (IQ-4, IQ-5) y diseño de procesos químicos. Además, el simular un proceso químico en un software permite que el estudiante pueda observar, comprobar y comparar los resultados de diversos modelos empíricos, teóricos e híbridos de propiedades físicas, leyes cinéticas y operaciones unitarias, entre otras. Las universidades con la asignatura con contenido de simulación de procesos químicos concuerdan que al contar con un software de simulación el estudiante tiene la

oportunidad de experimentar un proceso y realizar variantes hasta optimizar el proceso y todo esto sin necesidad de realizar pruebas piloto que resultan costosas.

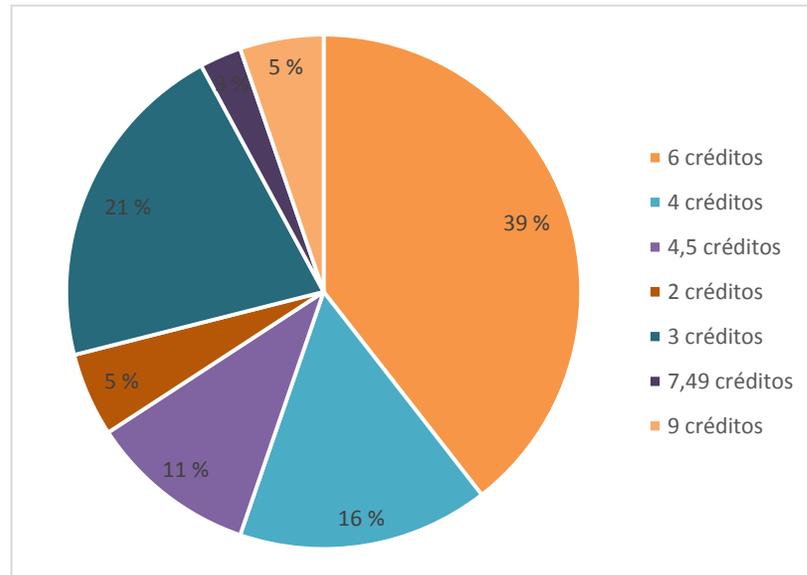
El 60 % de las universidades seleccionadas ha ubicado la asignatura con contenido de simulación de procesos en el último año de la carrera, el 33 % lo ubica en el penúltimo año de la carrera y un 2 % lo ubica a la mitad de la carrera.

Figura 5. **Carácter de la asignatura**



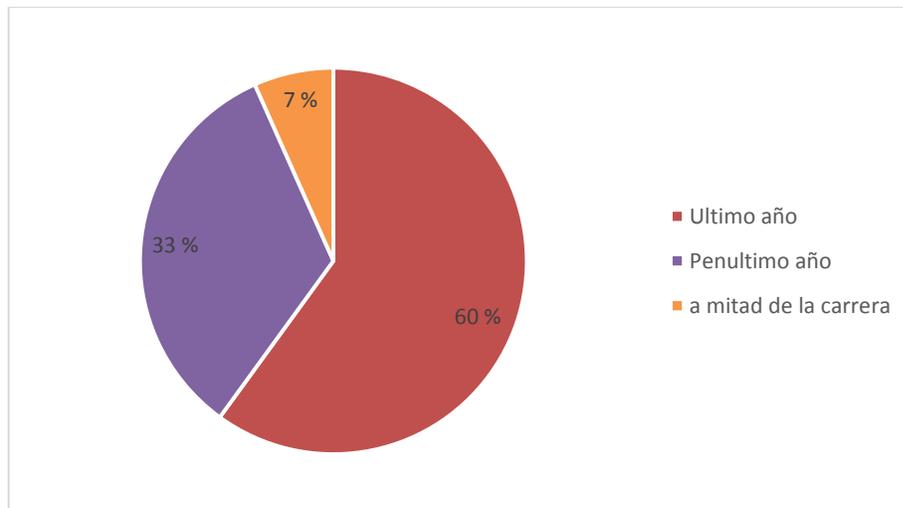
Fuente: elaboración propia.

Figura 6. **Créditos de la asignatura**



Fuente: elaboración propia.

Figura 7. **Módulo en el que se imparte la asignatura**



Fuente: elaboración propia.

4.3. Análisis de los objetivos de la asignatura

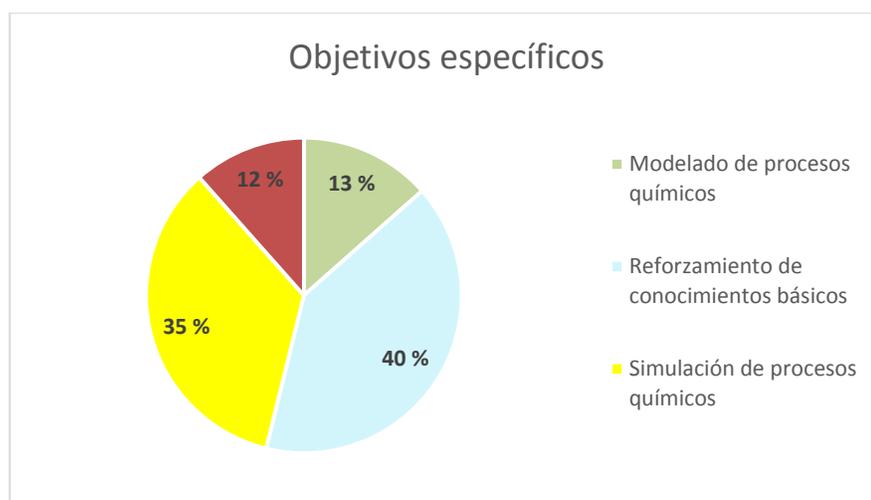
4.3.1. Análisis del objetivo general

Con base en un análisis de la información recolectada en el apéndice 1, el objetivo general de la asignatura con contenido de simulación de procesos es el siguiente:

Integrar los conocimientos básicos de ingeniería química y aplicarlos en la síntesis, diseño, modelado, control y optimización de procesos químicos; también, introducir al estudiante en la simulación de procesos químicos en estado estacionario y dinámico a través del manejo de simuladores comerciales de procesos químicos industriales.

4.3.2. Análisis de los objetivos específicos

Figura 8. Objetivos específicos de la asignatura



Fuente: elaboración propia.

El 12 % de los objetivos específicos analizados se enfoca en el uso del simulador Aspen HYSYS como herramienta para la simulación de procesos químicos; este porcentaje se resume en los siguientes planteamientos:

- Que el estudiante sea capaz de utilizar el simulador Aspen HYSYS.
- Que el estudiante sea capaz de realizar análisis de simulación y optimización de procesos químicos a través del uso del simulador Aspen HYSYS.

4.4. Análisis de las competencias

Las competencias de una asignatura son el conjunto de conocimientos, habilidades de toda índole, actitudes y valores que capacitarán al alumno para saber actuar, aprovechar y utilizar los recursos que se le proporcionan. En este trabajo de graduación se han clasificado en 2 tipos: competencias genéricas y competencias específicas; se refiere a competencias genéricas a las competencias que son aplicables a Ingeniería y competencias específicas a las competencias que son aplicables específicamente a la carrera de Ingeniería Química, enfocado en el contenido de simulación de procesos.

4.4.1. Competencias genéricas

Con base en el análisis del apéndice 3 y de las competencias generadas en el proceso de reforma curricular de la Escuela de Ingeniería Química de la Usac se integran las competencias genéricas en la tabla III.

Tabla III. **Competencias genéricas**

Tema integrador de las competencias genéricas	Código	Competencias
Comunicarse	CG-1	Capacidad de comunicarse efectivamente en forma verbal, gráfica y por escrito.
	CG-4	Capacidad de comunicarse efectivamente utilizando tecnologías de información y comunicación –tics-.
Relacionarse y trabajar en equipo	CG-5	Capacidad para trabajar en equipo.
	CG-7	Capacidad para organizar, planear, conducir y optimizar tiempo y recursos.
Fomentar desarrollo propio y mejora continua	CG-10	Capacidad para comprometerse a aprender por cuenta propia y a lo largo de toda la vida.
	CG-11	Capacidad para comprometerse con la autocrítica, la autoevaluación, el logro y la mejora continua.
Investigar, generar y gestionar información y datos	CG-20	Capacidad para investigar y organizar información y datos.
	CG-21	Capacidad para diseñar y conducir experimentos utilizando el método científico.
	CG-22	Capacidad para interpretar, analizar, integrar y evaluar información y datos.
Analizar, plantear y solucionar problemas de ingeniería	CG-23	Capacidad para aplicar matemáticas, física, química, estadística, biología y otras materias asociadas a las ciencias de ingeniería.
	CG-24	Capacidad para el análisis y la síntesis.
	CG-25	Capacidad para identificar, entender, analizar y tomar decisiones ante problemas reales en el contexto global, regional, nacional y local.
	CG-26	Capacidad para pensar en forma lógica, conceptual, deductiva y crítica.
	CG-27	Capacidad para modelar, simular y controlar sistemas.
	CG-28	Capacidad para la creatividad y la innovación.
	CG-29	Capacidad para pensar con enfoque multidisciplinario e interdisciplinario.

Fuente: elaboración propia.

4.4.2. Competencias específicas

Con base en el análisis del apéndice C1, C2 y de las competencias generadas en el proceso de reforma curricular de la Escuela de Ingeniería Química de la Usac se integran las competencias específicas y las competencias requeridas en la siguiente tabla:

Tabla IV. **Competencias específicas**

Tema integrador de las competencias específicas	Código	Competencia	CR*
Química	CE-1	Capacidad para demostrar conocimiento de los tipos principios de reacción química y las principales características asociadas a cada una.	X
	CE-2	Capacidad para demostrar conocimiento de los principios y procedimientos usados por los métodos estequiométricos de análisis químico.	X
	CE-3	Capacidad para demostrar conocimiento de la cinética química del carbono elemental y los hidrocarburos.	X
	CE-4	Capacidad para demostrar conocimiento de la cinética química, incluyendo equilibrio trifásico.	X
	CE-5	Capacidad para demostrar conocimiento de las propiedades fisicoquímicas de las sustancias puras y mezclas, incluyendo equilibrio bifásico.	X
	CE-6	Capacidad para demostrar conocimiento de los aspectos estructurales de la química de los hidrocarburos halogenados y oxigenados.	X
	CE-7	Capacidad para demostrar conocimiento del equilibrio iónico en solución acuosa.	X
	CE-8	Capacidad para demostrar conocimiento sobre la naturaleza y los fundamentos de la química general.	X
	CE-9	Capacidad para demostrar conocimiento sobre los métodos analíticos fisicoquímicos: Fundamentos y técnicas específicas.	X
	CE-11	Capacidad para demostrar conocimiento de la ciencia y tecnología metrológica, sus sistemas de unidades, los instrumentos usados en los campos científicos, industriales y legales.	X
	CE-12	Capacidad para demostrar conocimiento y habilidad para la observación, seguimiento y medida de propiedades, eventos o cambios químicos y fisicoquímicos.	X
Prácticas de laboratorio y manejo de datos	CE-15	Capacidad para demostrar conocimiento y destreza en el manejo y procesamiento informático de datos.	X
Fenómenos de transporte y operaciones unitarias	CE-19	Capacidad para demostrar conocimiento de la historia contemporánea de la Ingeniería química, los fenómenos de transporte, las operaciones Unitarias, los procesos químicos, los diagramas de flujo utilizados, los campos de acción de la ingeniería química y sus diferentes definiciones.	

Continuación de la tabla IV.

	CE-20	Capacidad para demostrar conocimiento sobre balance de materia y energía, tanto en régimen estacionario como no estacionario.	X
	CE-21	Capacidad para demostrar conocimiento y habilidad para el diseño de equipo de operaciones unitarias controladas o no por fenómenos de transporte.	X
	CE-22	Capacidad para demostrar conocimiento en equipos de operaciones unitarias físicas y químicas en donde el fenómeno controlante sea la transferencia individual de momento.	X
	CE-23	Capacidad para demostrar conocimiento en equipos de operaciones unitarias físicas en donde el fenómeno controlante sea la transferencia individual de calor.	X
	CE-24	Capacidad para demostrar conocimiento en equipos de operaciones unitarias físicas en donde los fenómenos controlantes sean la transferencia individual o simultánea masa.	X
	CE-25	Capacidad para demostrar conocimiento en equipos de operaciones unitarias físicas en donde el fenómeno controlante no son los fenómenos de transporte.	X
	CE-26	Capacidad para demostrar conocimiento en equipos de operaciones unitarias químicas así como la cinética de los mismos y las principales reacciones químicas.	X
	CE-27	Capacidad para demostrar conocimiento en equipos de operaciones unitarias físicas en donde los fenómenos controlantes sean la transferencia individual o simultánea masa a través de membranas.	X
Diseño de equipo y plantas de proceso, ingeniería aplicada	CE-33	Capacidad para demostrar conocimiento sobre los aspectos fundamentales del diseño de procesos, bioprocesos, productos y plantas industriales.	
	CE-34	Capacidad para demostrar conocimiento y realizar evaluaciones económicas en cualquiera de sus grados de precisión de diseños de equipos, productos y plantas de proceso y bioproceso industrial.	X
	CE-35	Capacidad para demostrar conocimiento para establecer viabilidad económica de un proyecto nuevo o de mejora de un proceso existente.	X
	CE-40	Capacidad para demostrar conocimiento sobre la aplicación de herramientas informáticas actualizadas, en el diseño, optimización, control y automatización de equipos, procesos y bioprocesos.	

Fuente: elaboración propia.

4.5. Análisis del contenido de la asignatura

Después de realizar el análisis de los contenidos del apéndice 4 se propone el siguiente contenido para la asignatura propuesta.

- Introducción: el objetivo de este bloque es introducir al estudiante en el tema de simulación de procesos químicos y su importancia.
 - Desarrollo histórico de la simulación de procesos. Relación entre modelado, simulación y optimización de procesos.
 - Descripción de las características de los tipos de métodos de simulación.
 - Modular secuencial
 - Orientado a ecuaciones
 - Modular simultáneo
 - Conceptos básicos de la simulación de procesos
 - Grados de libertad de un equipo
 - Grados de libertad de un diagrama de flujo
 - Elección de las variables de diseño
- Repaso de los equipos y su aplicación en las operaciones unitarias: el objetivo de este bloque es corroborar que el estudiante tiene el conocimiento fundamental sobre los equipos más utilizados en las plantas de procesos químicos.

- Bombas y válvulas
 - Compresores y expansores
 - Equipos divisores de corriente
 - Equipos sumadores o mezcladores
 - Equipos de Intercambio de calor
 - Equipos de contacto directo entre fases
 - Reactores químicos
 - Equipos de separación flash
 - Otros
- Termodinámica: en este bloque el objetivo es que el estudiante conozca y aprenda los criterios básicos para la correcta selección de paquetes termodinámicos
 - Paquetes termodinámicos
 - Ecuaciones de estado
 - Modelos de coeficiente de actividad
 - Modelos semiempíricos
 - Modelos de presión de vapor
 - Modelos especiales
 - Criterios para la correcta selección del paquete termodinámico
- Iniciación al uso del simulador comercial HYSYS: el objetivo de este bloque es presentar el funcionamiento básico del simulador comercial HYSYS.
 - Pasos básicos para el uso del simulador

- Descripción de las herramientas que contiene el simulador
- Paquetes termodinámicos que utiliza el simulador
- Equipos disponibles para realizar la simulación
- Simulación de operaciones unitarias en HYSYS: En este bloque el objetivo es que el estudiante empiece a asociarse con el software HYSYS realizando operaciones básicas en el simulador.
 - Mezcladores y divisores de corriente
 - Elementos impulsores de fluidos
 - Válvulas y tuberías
 - Balance de materia
 - Compresores y expansores
 - Equipos para el intercambio de calor
 - Columnas de destilación
 - Decantadores
 - Rectificación, extracción líquido-líquido y absorción
 - Reactores
 - Reactor de equilibrio
 - Reactor CSTR
 - Reactor PFR
 - Otros
- Introducción a la simulación de procesos químicos con HYSYS: en este bloque el objetivo es que el estudiante aprenda a integrar las operaciones unitarias en un proceso químico completo utilizando el simulador HYSYS.

- Procesos químicos en estado estacionario
- Procesos químicos en estado dinámico

- Evaluación económica: en este bloque el objetivo es que el estudiante desarrolle la capacidad de evaluar la rentabilidad de un proceso químico a partir de los resultados

- Optimización con la herramienta *optimizer* que proporciona el software HYSYS.

- Evaluación completa de procesos químicos industriales conocidos.
 - Simulación en HYSYS
 - Evaluación económica
 - Optimización

4.6. Métodos de enseñanza y aprendizaje de la asignatura

Con base en el análisis del apéndice y de las actividades formativas de enseñanza-aprendizaje de la asignatura generadas en el proceso de reforma curricular de la Escuela de Ingeniería Química de la Usac se integra los métodos de enseñanza y aprendizaje de la asignatura propuesta en la siguiente tabla:

Tabla V. **Métodos de enseñanza y aprendizaje**

Núm.	Metodología	Modalidad	Actividad	Descripción del trabajo del	
				Profesor	Estudiante
1	Exposición verbal	Presencial en grupo grande	Clase teórica	Clase expositiva utilizando técnicas de aprendizaje cooperativo informal de corta duración. Resolución de dudas planteadas por los estudiantes. Se tratan los temas de mayor complejidad y los aspectos más relevantes.	<ul style="list-style-type: none"> • Presencial: escucha, comprende, toma apuntes, pregunta o responde inquietudes del profesor. • No presencial: estudio de la asignatura.
2	Solución de problemas, estudio de casos y otras aplicaciones prácticas	Presencial en grupo grande	Clase práctica de problemas	Se resolverán problemas tipo y se analizarán problemas de casos prácticos usando hojas de trabajo. Se enfatizará el trabajo en el planteamiento de los métodos de resolución. Se supondrán problemas o casos prácticos similares para que los alumnos los resuelvan individualmente o por parejas siendo guiados por el profesor.	<ul style="list-style-type: none"> • Presencial: participación activa, resolución de ejercicios y planteamiento de dudas. • No Presencial: estudio de la asignatura y resolución de ejercicios propuesto por el profesor.
4	Solución de problemas, estudio de casos y otras aplicaciones prácticas	Presencial en grupos grande	Prácticas en aula de informática	Se aplicará la teoría impartida en cada tema un caso práctico resuelto mediante programas informáticos.	<ul style="list-style-type: none"> • Presencial: participación activa, práctica de software. • No Presencial: estudio de Software.
8	Estudio de casos y fijación de conocimientos actuando individualmente	No presencial complementaria (trabajo autónomo)	Preparación de trabajos e informes individuales	Se plantea la redacción de informes individuales de acuerdo a normas y procedimientos. Se enfatizará en el trabajo, en el planteamiento de su resolución y en la presentación. Los alumnos lo resolverán individualmente.	<ul style="list-style-type: none"> • No presencial: estudio de la materia, resolución del contenido del informe propuesto por el profesor siguiendo criterios de calidad establecidos.

Continuación de la tabla V.

9	Solución de problemas, estudio de casos y otras aplicaciones prácticas y cognitivas.	No presencial (trabajo autónomo)	Estudio individual e investigación bibliográfica	Utilizando las técnicas de aprendizaje los alumnos estudiarán, discutirán y resolverán las dudas que les puedan surgir de forma individual algunas dudas las resolverán buscando material por investigación bibliográfica. Construcción del conocimiento.	<ul style="list-style-type: none"> No presencial: estudio de la materia.
10	Discusión	Presencial Individual o en grupo	Tutoría individual y de grupo	Las tutorías serán individuales o de grupo con objeto de realizar un seguimiento individualizado o grupal del aprendizaje. Revisión de exámenes individual y por grupos, y motivación por el aprendizaje.	<ul style="list-style-type: none"> Presencial: planteamiento de dudas en horario de tutorías. No presencial: planteamiento de dudas por correo electrónico u otros mecanismos de comunicación.
11	Plataforma virtual	No presencial individual o en grupos	Videos online, videoconferencias y aula virtual	Se seleccionará material online para que se analice y discuta. Mediante estas acciones el estudiante reforzará sus conocimientos teóricos o prácticos de la materia.	<ul style="list-style-type: none"> Presencial: discusión oral o escrita del tema seleccionado en horario de clases. No Presencial: revisar, analizar y discutir el material propuesto por el profesor en forma online.

Fuente: elaboración propia.

En total se recomienda que el estudiante cumpla con 3 horas de estudio presencial en clase por semana y 6 horas de estudio personal no presencial por semana en un semestre.

4.7. Métodos de evaluación

Con base en el análisis del apéndice y de las técnicas de evaluación de la asignatura generadas en el proceso de reforma curricular de la Escuela de Ingeniería Química de la Usac se integra los métodos de evaluación propuesta en la siguiente tabla:

Tabla VI. Métodos de evaluación

Núm.	Instrumentos	Descripción	Verificador del logro	Ponderación	Genéricas evaluadas	Específicas evaluadas
11	Modelos físicos o modelos obtenidos con ayuda de software	Se propondrá una serie de trabajos que requieren construir modelos a escala en diferentes materiales o bien construir los modelos con ayuda de software específico. El estudiante lo presenta como modelos o bien como informe de diseño de modelos.	1	15	CG-4, CG-22, CG-26, CG-27, CG-29	CE-19, CE-33, CE-40
7	Problemas y tareas propuestas	Resolución no presencial de problemas o tareas para presentar individualmente o en grupo	10	20	CG-7, CG-10, CG-11	CE-1, CE-2, CE-3, CE-4, CE-5, CE-6, CE-7, CE-8, CE-9, CE-11, CE-12, CE-15, CE-19, CE-20, CE-21, CE-22, CE-23, CE-24, CE-25, CE-26, CE-27, CE-33, CE-34, CE-35, CE-40
2	Prueba escrita individual práctica (examen escrito parcial)	Problemas: pruebas basada en la solución de 1 a 4 problemas o cuestiones de media o larga extensión sobre un supuesto práctico. Se evalúa principalmente la capacidad de aplicación práctica de los conocimientos teóricos.	4	40	CG-1, CG-7, CG-10, CG-11, CG-22, CG-23, CG-24, CG-25, CG-26, CG-27, CG-29	CE-1, CE-2, CE-3, CE-4, CE-5, CE-6, CE-7, CE-8, CE-9, CE-11, CE-12, CE-15, CE-19, CE-20, CE-21, CE-22, CE-23, CE-24, CE-25, CE-26, CE-27, CE-33, CE-34, CE-35, CE-40.

Continuación de la tabla VI.

13	Autoevaluación	El alumno trabajará de forma individual realizando actividades planteadas por el profesor. Cada estudiante evaluará su propio trabajo colocando una ponderación tomando como base una rúbrica diseñada por el profesor.	4	5	CG-1, CG-7, CG-10, CG-11, CG-22, CG-23, CG-24, CG-25, CG-26, CG-27, CG-29	CE-1, CE-2, CE-3, CE-4, CE-5, CE-6, CE-7, CE-8, CE-9, CE-11, CE-12, CE-15, CE-19, CE-20, CE-21, CE-22, CE-23, CE-24, CE-25, CE-26, CE-27, CE-33, CE-34, CE-35, CE-40.
14	Evaluación formativa subjetiva	El profesor realiza una evaluación de naturaleza subjetiva sobre la conducta e integridad del estudiante a través del tiempo.	1	5	CG-1, CG-4, CG-5, CG-7, CG-10, CG-11	

Zona Total

75

Puntos

Fuente: elaboración propia.

Adicionalmente, se harán 1 o más exámenes que den la oportunidad de mejorar la nota obtenido en uno de los exámenes parciales para conocer si el estudiante aprendió de los errores cometidos en dicho examen parcial.

4.8. Evaluación formativa

Según el autor Pedro Morales en su obra *Ser profesor, una mirada al alumno*, la evaluación formativa consiste en un conjunto de procedimientos de evaluación de carácter formal e informal que se integran en el proceso de enseñanza-aprendizaje con el objetivo de modificar y mejorar el aprendizaje y comprensión de los estudiantes. Estas evaluaciones se realizan de forma frecuente durante el desarrollo del curso y no tienen una puntuación dentro de la

formación sumativa ya que el propósito es reforzar la comprensión de los temas.

Tabla VII. **Evaluación formativa**

Evaluación formativa	Momento de aplicación	Objetivos
Formulación de preguntas sobre el tema a desarrollar	Al comienzo de la clase	Verificar que el estudiante tiene conocimiento previo sobre el tema a desarrollar.
		Estimular a los estudiantes que no tienen conocimiento previo sobre el tema a que se concentre y profundice sobre el tema.
Formulación preguntas sobre los temas explicados.	En el transcurso de la clase	Verificar que los estudiantes van entendiendo los puntos explicados.
Prueba corta escrita u oral del tema desarrollado.	Al finalizar la clase	Verificar que el estudiante entendió cada punto explicado en la clase.
		Estimular al estudiante que no entendió a realizar preguntas para reforzar su conocimiento.

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Evaluación subjetiva**

Parámetro a evaluar	Malo 0 %	Puede mejorar 50 %	Muy bueno 80 %	Excelente 100 %
Asistencia a clases	≤ 50 %	50 ≥ X < 80 %	≥ 80 %	100 %
Participación en clase	No participa en ninguna actividad	Participa en la minoría de actividades	Participa en la mayoría de las actividades	Participa en todas las actividades

Continuación de la tabla VIII.

Tareas y trabajos	No realiza ninguna tarea y entrega tareas copiadas	Realiza tareas incompletas	Realiza la mayoría de tareas completas.	Realiza todas las tareas completas
Autoevaluación y coevaluación	No realiza la evaluación de forma consiente	-	-	Realiza la evaluación de forma consiente
Actitud en clase	No pone atención y distrae a los alumnos	Se desconcentra en ocasiones	Se distrae en pocas ocasiones	Está completamente concentrado en la clase
Actitud en exámenes parciales	Procura copiar las respuestas de otros alumnos	-	-	Realiza su examen de forma individual confiando en sus conocimientos

Fuente: elaboración propia.

4.9. Bibliografía recomendada

Tabla IX. Bibliografía básica y complementaria

Núm.	Nombre del libro	Básico	Complementaria
1	COBO, Carmén; GOMEZ. Cristina. <i>Guía docente de la asignatura</i> . [En línea]. < http://ocw.unican.es/cienciasexperimentales/teoria-de-la-optimizacion/teoria-delaoptimizacion >. [Consulta: 11 de octubre de 2015].	-	U36
2	MOKHTAR S., Bazaraa; HANIF D. Sherali;. <i>Nonlinear programming: Theory and algorithms</i> . 3a ed. New York: John Wiley & Sons, 2006. 872 p.	-	U30
3	BIEGLER, Lorenz T. <i>Nonlinear programming: concepts, algorithms, and applications to chemical processes</i> . Pittsburgh, Pennsylvania: Carnegie Mellon University, 2010. 416 p.	U36	-
4	BIEGLER, Lorenz T.; GROSSMANN, Ignacio E.; WESTERBERG, Arthur W. <i>Systematic methods of chemical process design</i> . New York: Prentice Hall, 1997. 796 p.	U31, U34, U36, U43	U12, U32

Continuación de la tabla IX.

5	CABALLERO, Rafael; GÓMEZ, Trinidad; GONZÁLEZ, Mercedes; MUÑOZ, Manuel; REY, Laura; RUIZ, Federico. <i>Programación matemática para economistas</i> . España: Universidad de Málaga, 1997. 442 p.	U36	-
6	CARNAHAN. Brice; LUTHER, James. <i>Applied numerical methods</i> . New York: John Wiley & Sons, 1969. 604 p.	-	U12
7	CASTILLO Enrique. <i>Formulación y resolución de modelos de programación matemática en ingeniería y ciencia</i> . [En línea]. < http://departamentos.unican.es/macc/personal/profesores/castillo/descargas.htm >. [Consulta: 11 de octubre de 2015].	-	U36
8	CHA, Philip D.; ROSENBERG, James J.; DYM, Clyve L. <i>Fundamentals of modeling and analyzing engineerign systmes</i> . Reino Unido: Cambridge University Press, 2000. 20 p.	U44	-
9	CHAPRA, Steven C., CANALE, Raymond P. <i>Métodos numéricos para ingenieros</i> . 6a ed. Argentina: McGraw-Hill, 2016. 375 p.	-	U44
10	CUTLIP, Michael, SHACHAM, Mordechai. <i>Resolución de problemas en ingeniería química y bioquímica con polymath, Excel y MATLAB</i> . 2a ed. Madrid, España: Prentice Hall, 2008. 706 p.	-	U25
11	DE CASTRO, Ollero. <i>Control e instrumentación de procesos</i> . España: Escuela Politécnica Superior de Ingeniería de Manresa, 1999. 455 p.	U44	-
12	DIMIAN, Alexandre. <i>Integrated design and simulation of chemical processes</i> . Amsterdam, Boston: Elseiver, 2003. 506 p.	-	U32
13	DOUGLAS, James M. <i>Conceptual design of chemical processes</i> . New York: McGraw-Hill, 1988. 489 p.	U31, U34, U40, U41	U32
14	EDGARD, Thomas, HIMMELBLAU, David, LASDON, Leon. <i>Optimization of chemical processes</i> . Boston: McGraw-Hill, 2001. 588 p.	U27, U31, U36	U41, U43
15	ELNASHAIE, Said, UHLIG, Frank. <i>Numerical Techniques for chemical and biological engineers using MATLAB</i> . New York: Springer, 2007. 590 p.	-	U25
16	FINLAYSON, Bruce. <i>Introduction to chemical engineering computing</i> . 2a ed. New York: John Wiley & Sons, 2012. 384 p.	U25	U43

Continuación de la tabla IX.

17	FLOUDAS, Christodoulos A.; PARDALOS Panos M. <i>Encyclopedia of optimization</i> . 2a ed. New York: Springer Publishers. 2009. 4622 p.	-	U36
18	FLOUDAS, Christodoulos A. <i>Nonlinear and mixed-integer optimization</i> . Reino Unido: Oxford University Press. 1995. 480 p.	U36	-
19	FOGLER, Scott. <i>Elementos de ingeniería de las reacciones químicas</i> . 4a ed. México: Pearson Prentice Hall, 2008. 1115 p.	-	U25
20	G.V, Reklaitis. <i>Balances de materia y energía</i> . México: Nueva Editorial Interamericana, 2006. 649 p.	-	U27
21	GHADEM, Nayef. <i>Computer Methods in chemical engineering</i> . EE.UU.: CRC Press, 2011. 524 p.	U43	-
22	GONZÁLEZ, José, SANTAFÉ, Asunción. <i>Análisis y simulación en MATHCAD Y MATLAB de procesos de parámetros globalizados</i> . España: Universidad politécnica de Valencia, 2012. 188 p.	U27	-
23	HAHN, Brian, VALENTINE, Daniel. <i>Essential Matlab for Engineers and Scientists</i> . 4a ed. Cambridge, Massachusetts, Estados Unidos Academic Press, 2013. 424 p.	-	U25
24	HANYAK, Michale E. <i>Chemical process simulation and the aspen HYSYS software</i> . Lewisburg, Pensilvania: Department of chemical engineering, Bucknell University, 2012. 264 p.	U31	-
25	HIMMELBLAU, David M., BISCHOFF Kenneth B. <i>Análisis y simulación de procesos</i> . Barcelona, España: Reverté, 1922. 18 p.	U44	U32
26	HOUGEN, Olaf A. <i>Principios de los procesos químicos</i> . Barcelona, España: Reverté, 1982. 576 p.	-	U39
27	INGHAM, Jonh. <i>Chemical engineering dynamics</i> . 3a d. New York: Wiley-Vch. 2007. 640 p.	U27	-
28	JIMÉNEZ, Arturo. <i>Diseño de procesos en ingeniería química</i> . Barcelona, España: Reverté, 2003. 272 p.	U44	U32
29	LUYBEN, William L. <i>Distillation design and control using Aspen simulation</i> . New York: John Wiley & Sons, 2006. 345 p.	U34	-

Continuación de la tabla IX.

30	LUYBEN, William L. <i>Plantwide dynamic simulators in chemical processing and cont.</i> EE.UU.: Marcel Dekker, 2002. 448 p.	U34	-
31	LUYBEN, William L. <i>Process, modeling, simulation and control for chemical enging.</i> EE.UU.: McGraw-Hill, 1990. 725 p.	U34	-
32	MCCABE, Warren; SMITH, Julina; HARRIOT, Peter. <i>Operaciones unitarias en la ingeniería química.</i> 7a ed. México: McGraw-Hill, 2007. 1114 p.	-	U39
33	MCRAE, Gregory; MENDIVIL, Ramón. <i>Modern methods for simulation and performance optimization of chemical processes.</i> Madrid, España: Universidad Rey Juan Carlos, 2002. 215 p.	U41	-
34	MISSEN, Ronald. <i>Chemical reaction engineering and kinetics.</i> New York: John Wiley & Sons, Inc, 1998. 692 p.	-	U25
35	MORA, Marcel. <i>Simulación de procesos químicos; guía práctica.</i> Colombia: Universidad EAFIT, 2006. 95 p.	U12	-
36	OCTAVE, Levenspiel. <i>Ingeniería de las reacciones químicas.</i> 3a ed. México: Umusa Wiley, 2006. 688 p.	-	U25
37	PIKE, Ralph W. <i>Optimization for engineering systems.</i> Nueva York: Van Reinhold, 1986. 417 p.	U30	-
38	POLING Bruce E.; PRAUSNITZ, John M.; O'CONNELL, John P. <i>The properties of gases and liquids.</i> 5a ed. New York: McGraw-Hill, 2000. 803 p.	-	U44
39	PRESS, Willian H.; TEUKOLSKY, Saul A.; VETTERLING, Willian T.; FLANNERY, Brian P. <i>Numerical recipes.</i> 3a ed. New York: Cambridge: Cambridge University Press, 2007. 1262 p.	-	U44
40	PUIGJANER, Luis; OLLERO, Pedro; DE PRADA, Cesar; JIMENEZ Laureano. <i>Estrategias de modelado, simulación y optimización de procesos químicos.</i> España: Síntesis, 2006. 384 p.	U31, U36, U39, U43	-
41	RAO, Singiresu S. <i>Engineering optimization: theory and practice.</i> 4a ed. New York: John Wiley & Sons, 2009. 830 p.	-	U32
42	RARDIN, Ronald. <i>Optimization in operations research.</i> EE.UU.: Prentice Hall, 1998. 1184 p.	-	U30

Continuación de la tabla IX.

43	RAVAGNANI, Mauro; CABALLERO, José. <i>Redes de cambiadores de calor</i> . San Vicente del Raspeig, España: Universidad de Alicante, 2012. 424 p.	U31	-
44	RAVINDRAN, A. <i>Engineering optimization: methods an applications</i> . 2a ed. Hoboken, New York: John Wiley & Sons, 2006. 688 p.	-	U32
45	REID, Sherwood; <i>Propiedades de los gases y líquidos ó REID</i> . 4a ed. México: MacGraw-Hill, 1987. 719 p.	-	U12, U44
46	RICE, Richard; DO, Duong. <i>Applied mathematics and modeling for chemical engineers</i> . New York: John Wiley & Sons, 2012. 731 p.	U27	-
47	RUDD, Dale. <i>Estrategia en ingeniería de procesos</i> . Madrid, España: Alhambra, D.L. 1976. 568 p.	-	U32
48	RUSSELL, T.W.F. <i>Introducción al análisis en ingeniería química</i> . México: Limusa, 1976. 570 p.	-	U32
49	SCENNA, Nicolás. <i>Modelado, simulación y optimización de procesos químicos</i> . México: Limusa, 1999. 840 p.	U30, U41	U32, U36
50	SCHEFFLAN Ralph. <i>Teach yourself the basics of Aspen Plus</i> . Hoboken, New York: Wiley American Institute of Chemical Engineers, 2011. 280 p.	U36	-
51	SEIDER, Warren. <i>Product and process design principles international student versión</i> . 3a ed. New York: John Wiley & Sons, 2010. 772 p.	U31, U36	U32
52	SEIDER, Warren; SEADER, J.D.; LEWIN, Daniel. <i>Process design principles: synthesis, analisis and evaluation</i> . New York, John Wiley & Sons, 1999. 883 p.	U41, U43, U44	U12
53	SERBOR, Dale; EDGAR, Thomas; MELLICHAMP, Duncan. <i>Process Dynamics and control</i> . 2a ed. New York: John Wiley & Sons, 2003. 736 p.	-	U43
54	SHINSKEY, F. Greg. <i>Sistemas de control de procesos: aplicación, diseño y sintonización</i> . México: McGraw-Hill, 1996. 540 p.	U34	-
55	SMITH, Robin. <i>Chemical Process design</i> . New York: McGraw-Hill, 1995. 713 p.	-	U31, U32
56	SMITH, Robin. <i>Chemical processes design and integration</i> . West Sussex, Wiley, 2005. 256 p.	U39	U41

Continuación de la tabla IX.

57	TORNERO, Josep; ARMESTO, Leopoldo. <i>Técnicas de optimización</i> . Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia, 2007. 278 p.	-	U27
58	TURTON, Richard. <i>Análisis, síntesis y diseño de procesos químicos</i> . NJ., Boston: Prentice Hall, 2003. 108 p.	U31, U41, U43	U32
59	WALAS, Stanley. <i>Chemical engineering equipment, selection and design</i> . 3a ed. Washington: Butterworth-Heinemann, 1990. 774 p.	-	U12
60	WESTERBERG, A.W., HUTCHISON H.P., MOTARD R.L., WINTER P. <i>Process Flowsheeting</i> . Gran Bretaña: Cambridge University Press, 1985. 262 p.	U36	-

Fuente: elaboración propia.

Según los datos de la tabla IX, los libros más utilizados son los siguientes:

Tabla X. **Bibliografía más utilizada**

Nombre del libro	Porcentaje
BIEGLER, Lorenz T.; GROSSMANN, Ignacio E.; WESTERBERG, Arthur W. <i>Systematic methods of chemical process design</i> . New York: Prentice Hall, 1997. 796 p.	10 %
EDGARD, Thomas; HIMMELBLAU, David; LASDON, Leon. <i>Optimization of chemical processes</i> . Boston: McGraw-Hill, 2001. 666 p.	8 %
DOUGLAS, James M. <i>Conceptual design of chemical processes</i> . New York: McGraw-Hill, 1988. 601 p.	8 %
PUIGJANER, Luis; OLLERO, Pedro; DE PRADA, Cesar; JIMENEZ Laureano. <i>Estrategias de modelado, simulación y optimización de procesos químicos</i> . España: Sinteis, 2006. 384 p.	7 %
SEIDER, Warren; SEADER, J.D.; LEWIN, Daniel. <i>Process design principles: synthesis, analysis and evaluation</i> . New York: John Wiley & Sons, 1999. 883 p.	7 %
TURTON, Richard. <i>Analysis, síntesis y diseño de procesos químicos</i> . New York: Prentice Hall, 2003. 108 p.	7 %
SEIDER, Warren. <i>Product and process design principles international student versión</i> . 3a ed. New York: Wiley, 2010. 883 p.	5 %

Fuente: elaboración propia.

4.10. Herramienta tecnológica utilizada en las prácticas de laboratorio

Tabla XI. **Softwares utilizados para la simulación de procesos**

C	Ui
Aspen Custom Modeller	U36
Aspen HYSYS	U12, U30, U31, U32, U34, U39, U43, U44
Aspen Icarus Process Evaluator	U12
Aspen Plus	U12, U29, U34, U36, U41
Bath Plus	U12
CHEMCAD	U12
EES	U29
Excel	U12, U25, U30
GAMS	U31, U36
Intelligen	U43
MATHCAD	U27
MATLAB	U25, U27, U31, U43, U44
POLYMATH	U25, U12
PROMAX	U34
UNISIM	U34, U40
Visual Basic	U12

Fuente: elaboración propia.

Según los datos proporcionados en la tabla IX, Aspen Hysys y Aspen Plus son los softwares más utilizados para las prácticas; su uso se complementa con otros softwares de la compañía de Aspen Tech: Aspen Icarus Process y Aspen Custom Modeller.

4.10.1. Aspen HYSYS

Tanto Aspen HYSYS como Aspen Plus son herramientas que permiten realizar el diseño, la simulación y la optimización de un proceso basado en la solución del cálculo de los balances de materia, energía y momento lineal de un proceso cuya estructura y datos preliminares de los equipos que lo componen son conocidos; ambos software cuentan con sus propios paquetes de datos

termodinámicos y simulan procesos en estado estacionario; sin embargo, Aspen HYSYS a diferencia de Aspen Plus puede realizar la simulación de un proceso en estado no estacionario.

4.10.2. Aspen Custom Modeler

Comúnmente, los simuladores solo permiten programar operaciones unitarias personalizadas y con funcionalidad restringida al propio entorno del simulador. Aspen Custom Modeler es un software que permite al usuario crear y compartir sus propios modelos de equipos y exportarlos a los simuladores Aspen Plus o Aspen HYSYS.

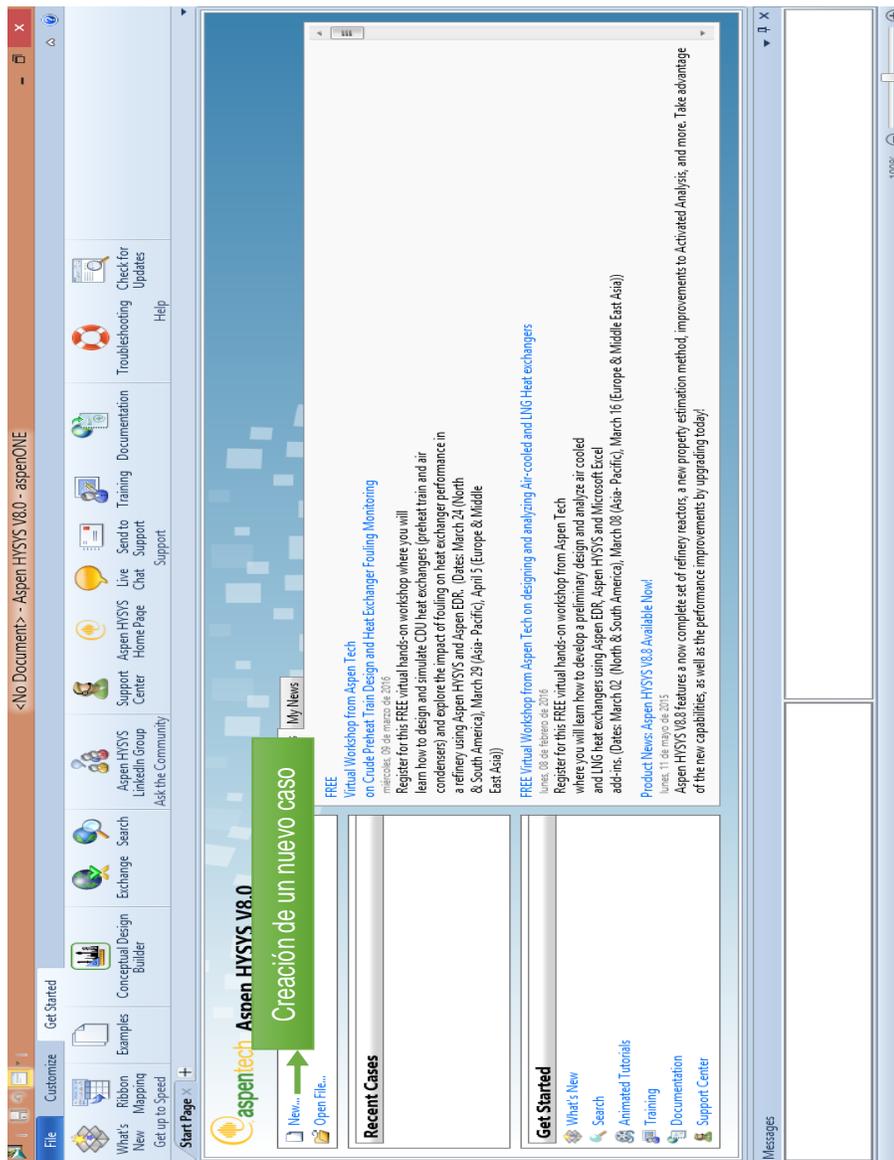
4.10.3. Aspen Icarus Process Evaluator (IPE)

Aspen Icarus Process Evaluator (IPE) permite evaluar económicamente un proceso a partir de los datos obtenidos de los simuladores Aspen Plus y Aspen HYSYS ya que tiene la capacidad de realizar el dimensionamiento básico de los equipos y su cotización, realizar la estimación del capital de inversión, costos de operación, costo total del producto y finalmente la evaluación de la rentabilidad del proyecto. Aspen IPE usa los datos de diseño y costos proporcionados por las siguientes empresas: Capitan Overlay Technologies, DOW Plastic-Lined Piping Products, Fisher Controls International Inc, Honeywell Inc, John Zink Company, Victaulic Company of America y Hawke International. Cabe destacar que al calcular el costo de inversión el software permite que el usuario especifique sus parámetros como impuestos, capital de trabajo, vida económica del proyecto, etc.

4.11. Guía básica del uso del software Aspen HYSYS V8.0

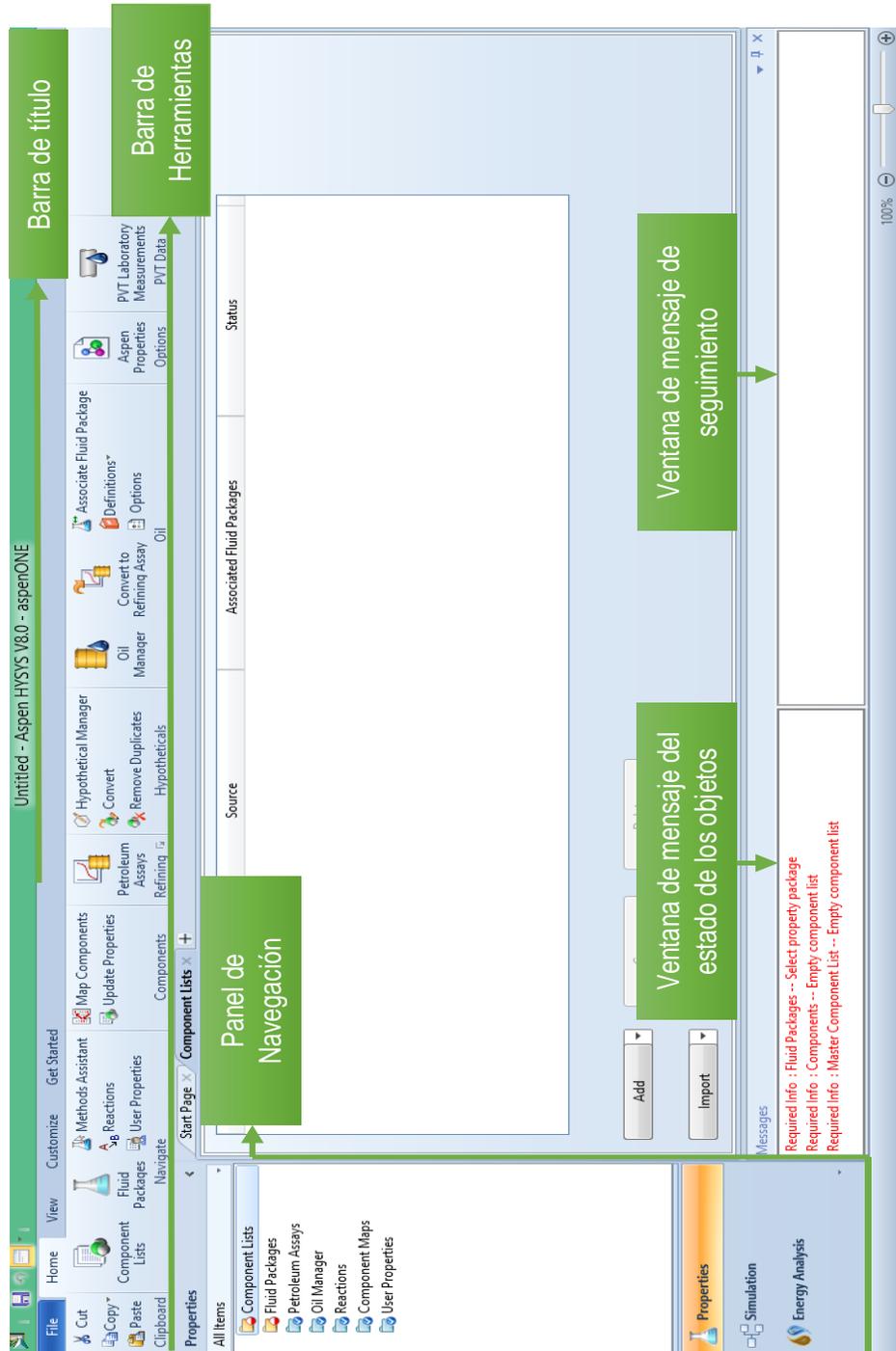
4.11.1. Descripción del entorno de HYSYS

Figura 9. Ventana inicial



Fuente: elaboración propia, empleando Aspen HYSYS.

Figura 10. Entorno de HYSYS



Fuente: elaboración propia, empleando Aspen HYSYS.

4.11.2. Algoritmo básico para la simulación en HYSYS

El procedimiento básico para realizar una simulación en HYSYS es el siguiente:

- Escoger o crea un caso de un proceso químico.
- Seleccionar el o los componentes a utilizar en el proceso químico.
- Asignar el paquete termodinámico respectivo a cada componente.
- Especificar las condiciones de cada corriente de los componentes.
- Especificar las condiciones de operación de los equipos involucrados en el proceso.
- Generar el reporte.

4.11.2.1. Selección del componente a utilizar en el proceso

Al seleccionar la carpeta 'component lists', ubicada en el panel de navegación, se observan los botones 'add' e 'import' (ver figura 9) los cuales permiten escoger el componente a utilizar en la simulación ya sea utilizando el banco de información del software ('add') o importándolo de otra fuente ('import').

4.11.2.1.1. Selección del componente utilizando el botón 'add'

Los componentes están clasificados en 3 categorías: componentes puros ('Pure Component'), hipotéticos ('Hypothetical') y sólidos hipotéticos ('Hypothetical Solid'). Si se selecciona la categoría de componentes puros se desplegaran 3 pestañas de búsqueda: el 'filtro' que clasifica a los componentes

por familia, 'búsqueda por' que define el nombre con el que se buscará el componente y 'búsqueda' que es el espacio hábil para escribir el nombre del componente (ver figura 10).

Si se selecciona la categoría de componentes hipotéticos utilizando el método *'Create and edit hypos'* aparecerá la ventana que se observa en la figura 11.

Si se selecciona la categoría de componentes hipotéticos utilizando el método *'Create a batch of hypos'* aparecerá la ventana que se observa en la figura 12.

Figura 11. Componentes puros

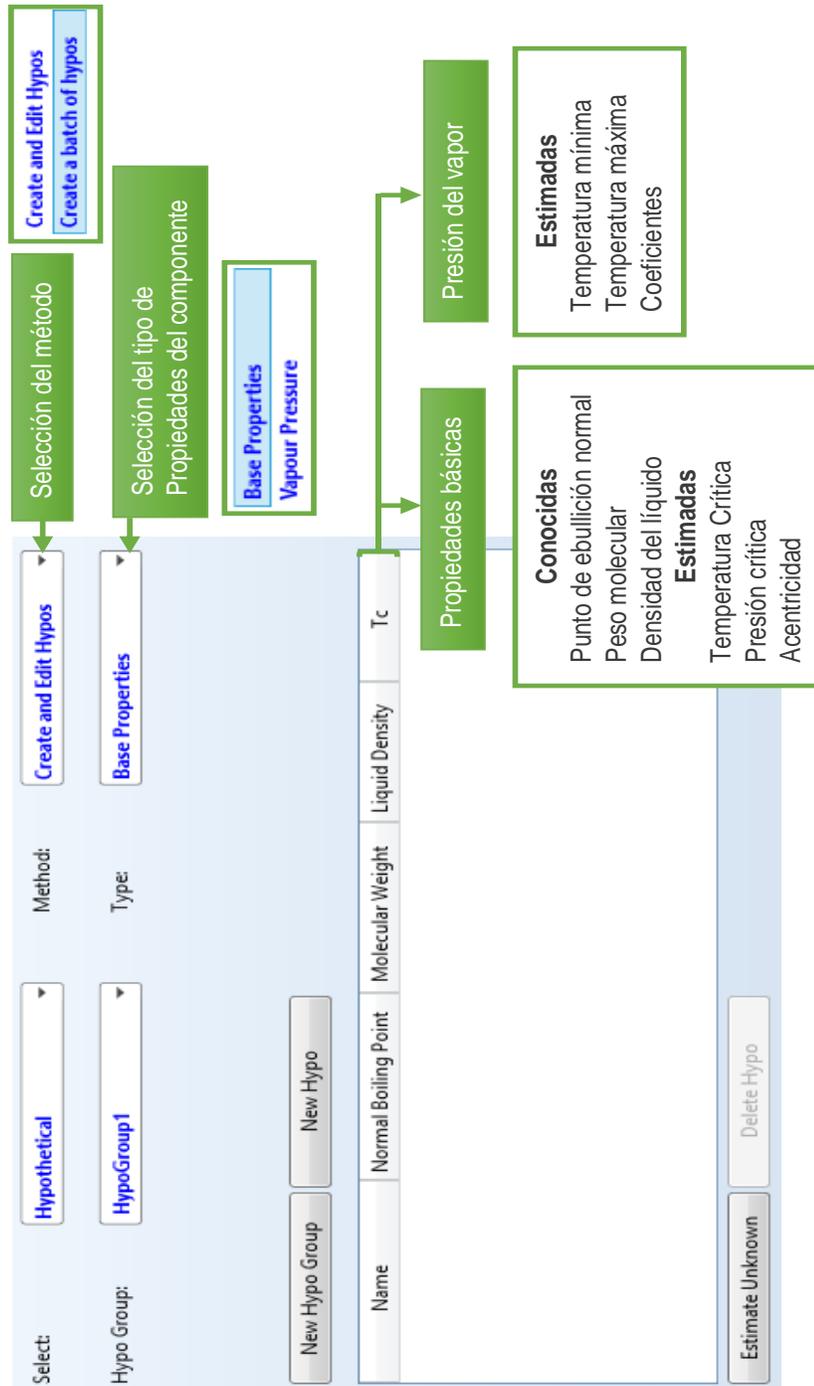
The screenshot shows the 'Pure Components' selection interface in Aspen HYSYS. It includes a search area with a 'Select' dropdown set to 'Pure Components', a 'Filter' dropdown set to 'All Families', and a 'Search by' dropdown set to 'Simulation Name'. A table of components is displayed with the following data:

Simulation Name	Full Name / Synonym	Formula
S_Rhombic	Sulphur_Rhombic	S
S_Monoclinic	Sulphur_Monoclinic	S
S_Amorphous	Sulphur_Amorphous	S
S_Liq_150	Sulphur_Liq_150	S
S_Liq_190	Sulphur_Liq_190	S
S_Liq_280	Sulphur_Liq_280	S
S_Vapour	Sulphur_Vapour	S
Carbon	Carbon	C
Mercury	Mercury	Hg
H2S	H2S	H2S
COS	CarbonOxiSulphide	COS
CS2	CarbonDiSulphide	CS2
diM-Sulphide	di-M-Sulphide	C2H6S
diMSulfoide	di-M-Sulfoide	C2H6OS
diMdSulphid	di-M-diSulphide	C2H6S2
M-E-Sulfide	M-E-Sulfide	C3H8S

Annotations in the image include: 'Lista de componentes añadidos' pointing to the empty component list table; 'Filtro' pointing to the 'All Families' dropdown; 'Búsqueda por' pointing to the 'Simulation Name' dropdown; and 'Estado' pointing to the 'Empty component list' status bar.

Fuente: elaboración propia, empleando Aspen HYSYS.

Figura 12. Componente hipotético método 'create and edit hypos'



Fuente: elaboración propia, empleando Aspen HYSYS.

Figura 13. Componente hipotético método 'create a batch of hypos'

Method: **Create a batch of hypos**

Select: **Hypothetical**

Hypo Group: **HypoGroup1**

Initial Boiling Point: **30.00 C**

Final Boiling Point: **900.0 C**

Method: **Interval**

Ingresar datos

Propiedades básicas

Name	Normal Boiling Point	Molecular Weight	Liquid Density	Tc

Conocidas
 Punto de ebullición normal
 Peso molecular
 Densidad del líquido

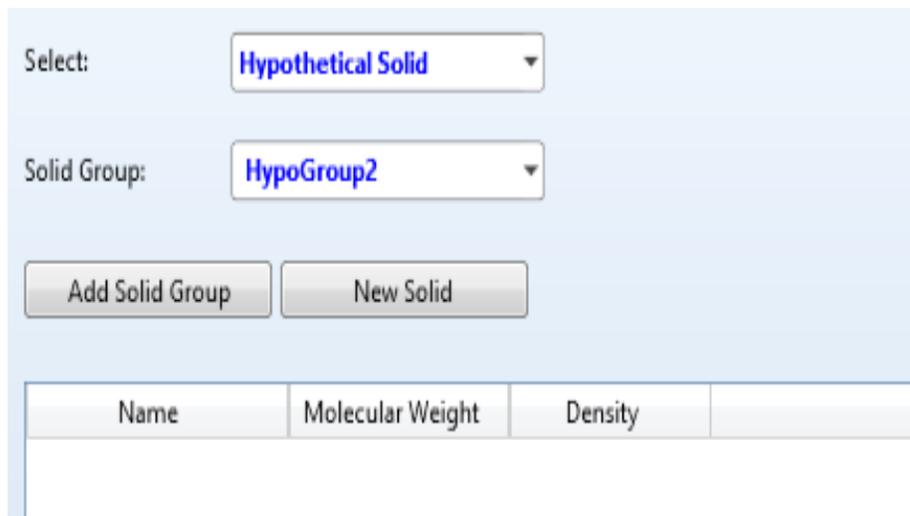
Estimadas
 Temperatura Crítica
 Presión crítica
 Acentricidad

Estimate Unknown **Delete Hypo**

Fuente: elaboración propia, empleando Aspen HYSYS.

Si se selecciona la categoría de componente sólido hipotético aparecerá la ventana que se observa en la figura 13.

Figura 14. **Componente sólido hipotético**



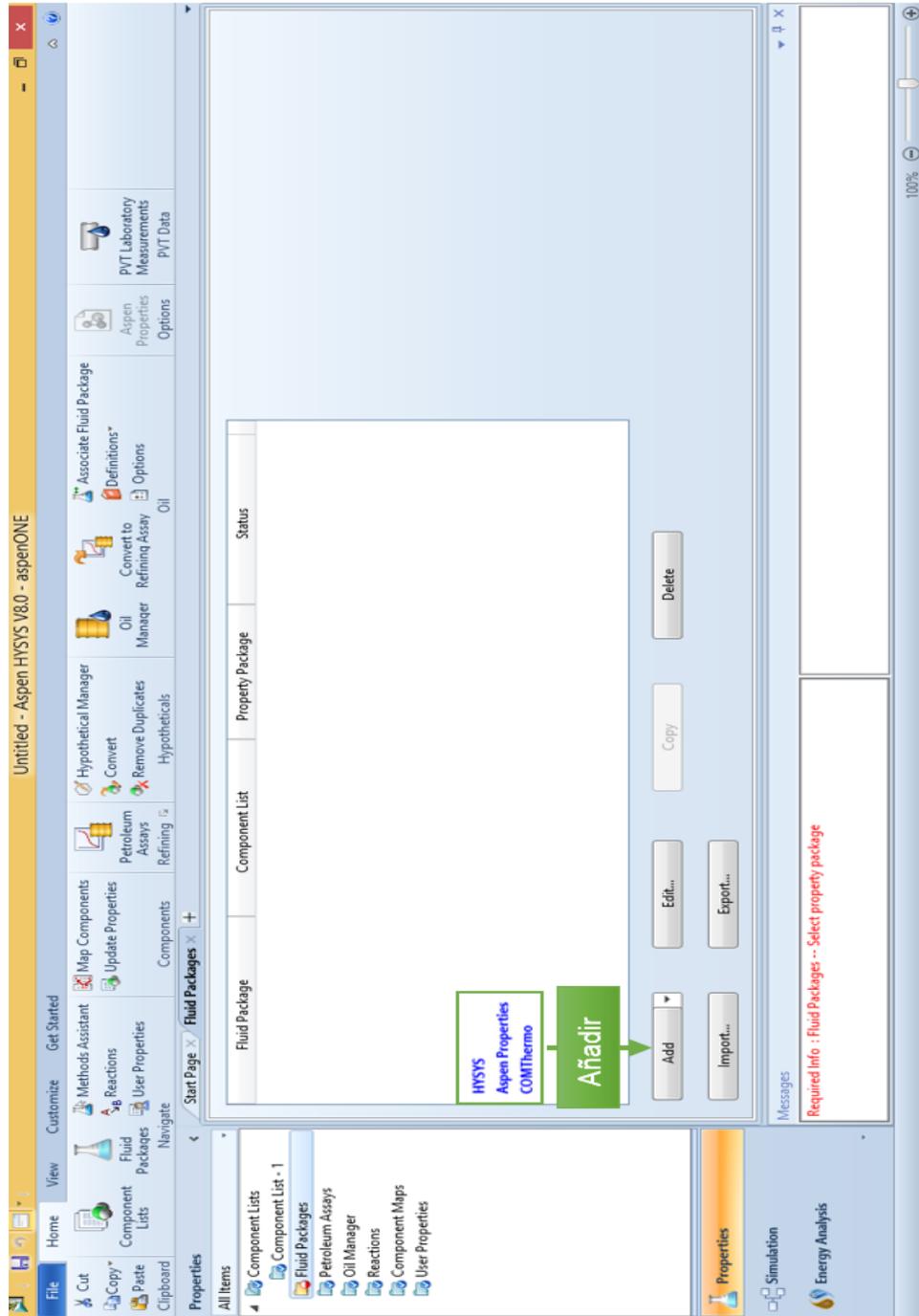
Name	Molecular Weight	Density	

Fuente: elaboración propia, empleando Aspen HYSYS.

4.11.2.2. Selección del paquete del fluido

Si se selecciona la carpeta 'fluid package', ubicada en el panel de navegación, se observan los botones 'add' e 'import' (ver figura 14) los cuales permiten seleccionar el paquete termodinámico del componente a utilizar en la simulación ya sea utilizando el banco de información del software ('add') o importándolo de otra fuente ('import'). Si se selecciona el botón 'add' este desplegará 3 opciones de bibliotecas: HYSYS, Aspen properties y COMThermo.

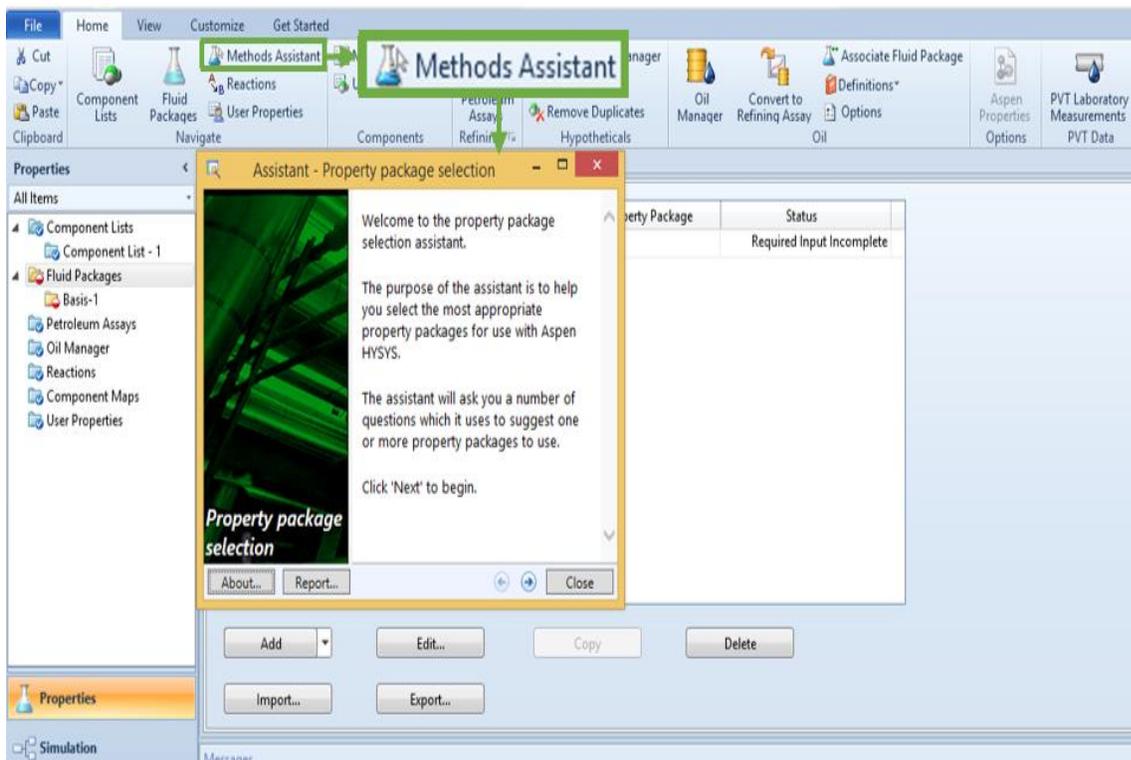
Figura 15. 'Fluid package'



Fuente: elaboración propia, empleando Aspen HYSYS.

HYSYS cuenta con un asistente llamado 'Methods assistant' (ubicada en la parte superior izquierda de la pantalla, (ver figura 15) cuyo propósito es guiar al usuario en la selección del paquete de propiedades termodinámicas más apropiado al componente previamente seleccionado, para ello realiza una serie de preguntas acerca de la naturaleza del componente.

Figura 16. 'Methods assistant'



Fuente: elaboración propia, empleando Aspen HYSYS.

4.11.2.2.1. Paquetes termodinámicos disponibles en la biblioteca HYSYS

Tabla XII. Paquetes termodinámicos disponibles en la biblioteca HYSYS

Nombre del paquete	
• Amine Pkg	• MBWR
• Antoine	• NBS Steam
• ASME Steam	• NRTL
• Braun K10	• OLI_Electrolyte
• BWRS	• Peng-Robinson
• Chao Seader	• PR-Twu
• Chien Null	• PRSV
• Clean Fuels Pkg	• Sour SRK
• Esso Tabular	• Sour PR
• Extended NRTL	• SRK
• GCEOS	• SRK-Twu
• General NRTL	• Twu-Sim-Tassone
• Glycol pkg	• UNIQUAC
• Grayson Streed	• Van Laar
• Kabadi-Danner	• Wilson
• Lee-Kesler-Plocker	• Zudkevitch-Joffe
• Margules	

Fuente: elaboración propia.

4.11.2.2. Paquetes termodinámicos disponibles en la biblioteca de Aspen Properties

Tabla XIII. **Paquetes termodinámicos disponibles en la biblioteca de Aspen Properties**

Clasificación	Nombre del paquete	
Chemical	<ul style="list-style-type: none"> • Electrolyte NRTL • ENRTL-HF • NRTL • NRTL-2 • NRTL-HOC • NRTOL-RK • NRTL-SAC • Peng-Robinson • RefProp • RK-Soave • UNIFAC • UNIFAC-DMD 	<ul style="list-style-type: none"> • UNIFAC-LBY • UNIQUAC • UNIQUAC-2 • UNIQUAC-HOC • UNIQUAC-RK • Wilson • Wilson-2 • Wilson-GLR • Wilson-HF • Wilson-HOC • Wilson-LR • Wilson-RK
CoalProc	<ul style="list-style-type: none"> • PR-BM • RKS-BM 	<ul style="list-style-type: none"> • Solids
Common	<ul style="list-style-type: none"> • BK10 • Chao Seader • Electrolyte NRTL • IAPWS-95 • Ideal • NRTL • NRTL-SAC • PC-SAFT • Peng-Robinson 	<ul style="list-style-type: none"> • PSRK • RefProp • Solids • SRK • Steam NBS • UNIFAC • UNIQUAC • Wilson • Wilson-GLR
Environ	<ul style="list-style-type: none"> • Electrolyte NRTL • NRTL • PRMHV2 • PRWS • PSRK 	<ul style="list-style-type: none"> • RKSMHV2 • RKSWS • SR-Polar • UNIQUAC • Wilson
Gasproc	<ul style="list-style-type: none"> • Electrolyte NRTL • GERG2008 • HYSYS Glycol Pkg • HYSYS Peng Robinson • HYSYS SRK • PC-SAFT • Peng-Robinson • PR-BM 	<ul style="list-style-type: none"> • PRMHV2 • PSRK • RefProp • RK-Soave • RKS-BM • RKSMHV2 • RKSWS • SR-Polar

Continuación de la tabla XIII.

<i>HF-Acid</i>	• ENRTL-HF	• Wilson-HF
<i>HYSYS</i>	• HYSYS Glycol Pkg • HYSYS Peng Robinson	• HYSYS SRK •
<i>Metal</i>	• Electrolyte NRTL	• Solids
<i>Oil-Gas</i>	• HYSYS Glycol pkg • HYSYS Peng Robinson • HYSYS SRK	• PC-SAFT • PR-BM • RKS-BM
<i>Petchem</i>	• Chao Seader • Grayson • NRTL • Peng-Robinson	• RefProp • RK-Soave • UNIQUAC • Wilson
<i>Power</i>	• IAPWS-95 • PR-BM • RKS-BM	• Steam NBS • Steam-Table
<i>Refinery</i>	• BK10 • Chao Seader • Grayson	• Peng-Robinson • RK-Soave
<i>Synfuel</i>	• BWR-LS • PR-BM	• RKS-BM
<i>Water</i>	• IAPWS-95 • Steam NBS	• Steam-Table

Fuente: elaboración propia.

4.11.2.2.3. Paquetes disponibles en la biblioteca COMThermo

Tabla XIV. Paquetes disponibles en la biblioteca COMThermo

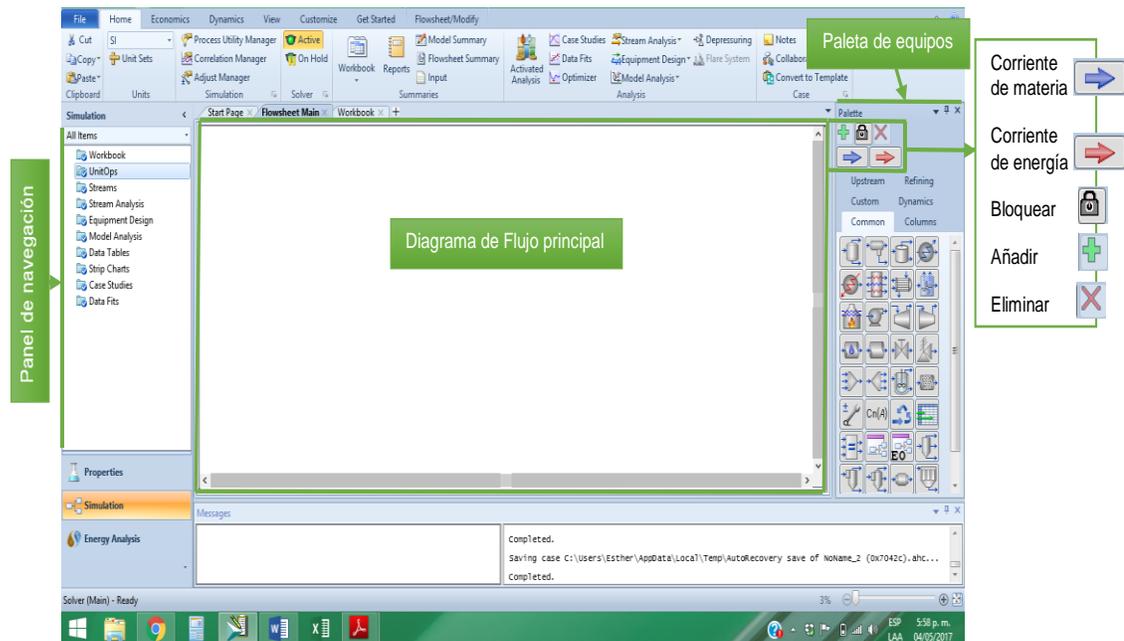
Nombre del paquete
• Antoine
• Braun K10
• CAPE-OPEN 1.0
• CAPE-OPEN 1.1
• DBRAmine
• Esso Tabular
• Hysys PR
• Ideal Gas
• Ideal Gas/LK
• Kabadi-Danner
• Lee-Kesler-Plocker
• MultiflashExtPkg
• Neotec Black Oil
• PRSV
• PRSV/LK
• PVTProExtPkg
• Peng-Robinson
• Peng-Robinson/LK
• Redlich-Kwong
• SRK
• SRK/LK
• Sour Peng-Robinson
• Zudkevitch-Joffe

Fuente: elaboración propia.

4.11.2.3. Construcción del diagrama de flujo del proceso químico

Una vez seleccionado los componentes y sus respectivos paquetes termodinámicos, se procede a construir el diagrama de flujo del proceso. En la figura se observan las herramientas que el software le proporciona al usuario para su construcción.

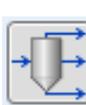
Figura 17. **Ventana de construcción del diagrama de flujo del proceso químico a simular**



Fuente: elaboración propia, empleando Aspen HYSYS.

El software cuenta con una variedad de equipos que están clasificados de la siguiente forma: operaciones comunes ('Common'), operaciones personalizadas ('Custom'), operaciones de Refinería ('Refining'), columnas y reactores ('Columns'), operaciones del sector de exploración y producción ('Upstream') y operaciones dinámicas ('Dynamics').

Tabla XV. Equipos y herramientas disponibles en la categoría 'Common'

Equipo	Imagen	Equipo	Imagen	Equipo	Imagen
Separador		Separador de fases		Tanque	
Enfriador		Calentador		Intercambiador LNG	
Intercambiador De calor		Enfriador De aire		Calefacción de gas	
Bomba		Expansor		Compresor	
Tubería de gas		Segmentos de tubería		Válvula de control	
Válvula de seguridad		Mezclador		Tee	
Hidro-ciclón líquido-líquido		Reactor PFR		Configuraciones	
Set	Cn(A)	Reciclo		Hoja de cálculo	
Filtro de bolsa		Balance de materia		Diagrama de flujo secundario en blanco	
Diagrama de flujo orientado a la ecuación		Separador simple de sólidos		Reactor de tanque continuamente agitado	
Hidro-ciclón		Filtro de vacío rotatorio		Ciclón	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. Equipos y herramientas disponibles en la categoría 'Custom'

Equipo	Imagen	Equipo	Imagen	Equipo	Imagen
Importar modelos del usuario		Importar modelos de ACM		Vincular datos externos	
CAPE-OPEN unit 1.1 operation		CAPE-OPEN unit 1.0 operation		Extensión de tuberías	
Extensión SULSIM		Equilibrio de operaciones unitarias		Operaciones unitarias OLGA 2000	
Eyector		Numerador de máquinas		Tubería mejorada	
Cabeza de pozo PQ		Saturador con agua		Flujo virtual de la operación unitaria	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. Equipos y herramientas disponibles en la categoría 'Refining'

Equipo	Imagen	Equipo	Imagen	Equipo	Imagen
Alimentador de petróleo		Columna de destilación de petróleo		Manipulador de ensayo	
Mezclador de productos		Craqueo catalítico fluidizado		Reactor de cambio de petróleo	
Reformador catalítico		Hydrocraqueador		Isomerizador	
Hydroprocessor bed					

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. Equipos y herramientas disponibles en la categoría 'Columns'

Equipo	Imagen	Equipo	Imagen	Equipo	Imagen
Columna de destilación		Columna de Reflujo		Divisor de componentes HYSYM Fractionator	
Absorber		Reboiled Absorber		Destilación corta	
Destilador de 3 fases		Extractor líquido-líquido		Destilación Rate-Based	
Reactor Gibbs		Reactor de equilibrio		Reactor de conversión	
Reactor de cambio de rendimiento		Columna en blanco para el diagrama de flujo			

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. Equipos y herramientas disponibles en la categoría 'Upstream'

Equipo	Imagen	Equipo	Imagen	Equipo	Imagen
Lumper		Delumper		Aceite negro	
Aspen Hydraulica		Red de tuberías		Enlace de tuberías	
OLGA 2000		Experto en petróleo GAP			

Fuente: elaboración propia.

Tabla XX. Equipos y herramientas disponibles en la categoría 'Dynamics'

Equipo	Imagen	Equipo	Imagen	Equipo	Imagen
Neutralizador		Precipitador		Cristalizador	
Controlador de rango dividido		Controlador de proporción		Controlador PID	
Controlador MPC		Controlador DMC plus		Bloque selector	
Punto de control digital		Bloque de función de transferencia		Boolean not Gate	
Boolean and Gate		Boolean or Gate		Boolean XOr Gate	
Boolean OffDly Gate		Boolean OnDly Gate		Boolean Latch Gate	
Boolean CountUp Gate		Boolean Countdown Gate		Matriz causa y efecto	

Fuente: elaboración propia.

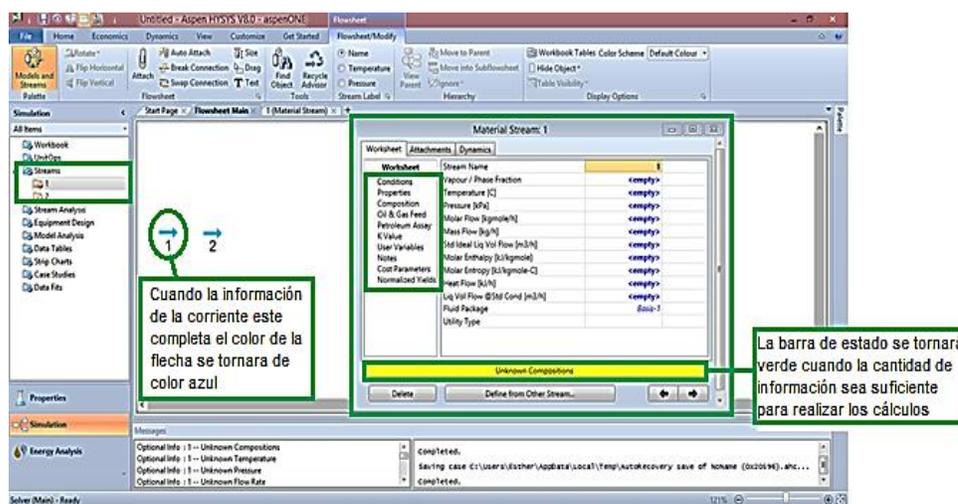
4.11.2.4. Especificación de las condiciones de las corrientes

Dentro del diagrama de flujo del proceso químico es necesario identificar el nombre de cada corriente y especificar sus condiciones, esto se puede realizar seleccionando la carpeta 'streams' o haciendo doble clic en la flecha de cada corriente, al hacer este paso se abrirá una nueva ventana llamada 'worksheet' u hoja de cálculo en la cual se despliegan 10 pestañas para llenar información acerca de la corriente:

- Condiciones ('condition')
- Propiedades ('properties')
- Composición ('composition')
- Alimentación de gas y aceite ('oil & gas feed')
- Ensayo de petróleo ('petroleum assay')
- Valor k ('k value')
- Variables del usuario ('user variables')
- Notas ('notes')
- Costo de parámetros ('cost parameters')
- Rendimientos normalizados ('normalized yields')

De las 10 pestañas, las primeras 3 son las básicas para cualquier tipo de procesos, las siguientes 7 pestañas solo aplican si el proceso lo requiere. Los valores ingresados se observarán de color azul y los valores calculados por el software se observarán de color negro.

Figura 18. 'Worksheet'



Fuente: elaboración propia.

4.11.2.5. Especificación de las condiciones de operación de equipo

Después de haber seleccionado el equipo, el procedimiento básico para especificar sus condiciones es el siguiente:

- Dirigirse a la carpeta 'UnitOps' ubicada en el panel de navegación y seleccionar el equipo.
- Al realizar el paso anterior se abrirá una nueva ventana cuyo título será el nombre del equipo con su respectiva enumeración, en esta ventana se podrá observar un conjunto de pestañas que van variando según el equipo sin embargo todas tienen en común las siguientes:
 - 'Design': en esta pestaña se desglosarán las siguientes sub carpetas
 - 'Conecction' que sirve para especificar las corrientes de entrada y salida de materia y de energía.
 - 'Parameters'
 - 'User Variables'
 - 'Notes'
 - 'Rating' en esta pestaña se desglosarán una cantidad de carpetas para describir aspectos del equipo como:
 - Tamaño
 - Transferencia de calor
 - Pérdida de calor

- Curvas características en el caso de las bombas

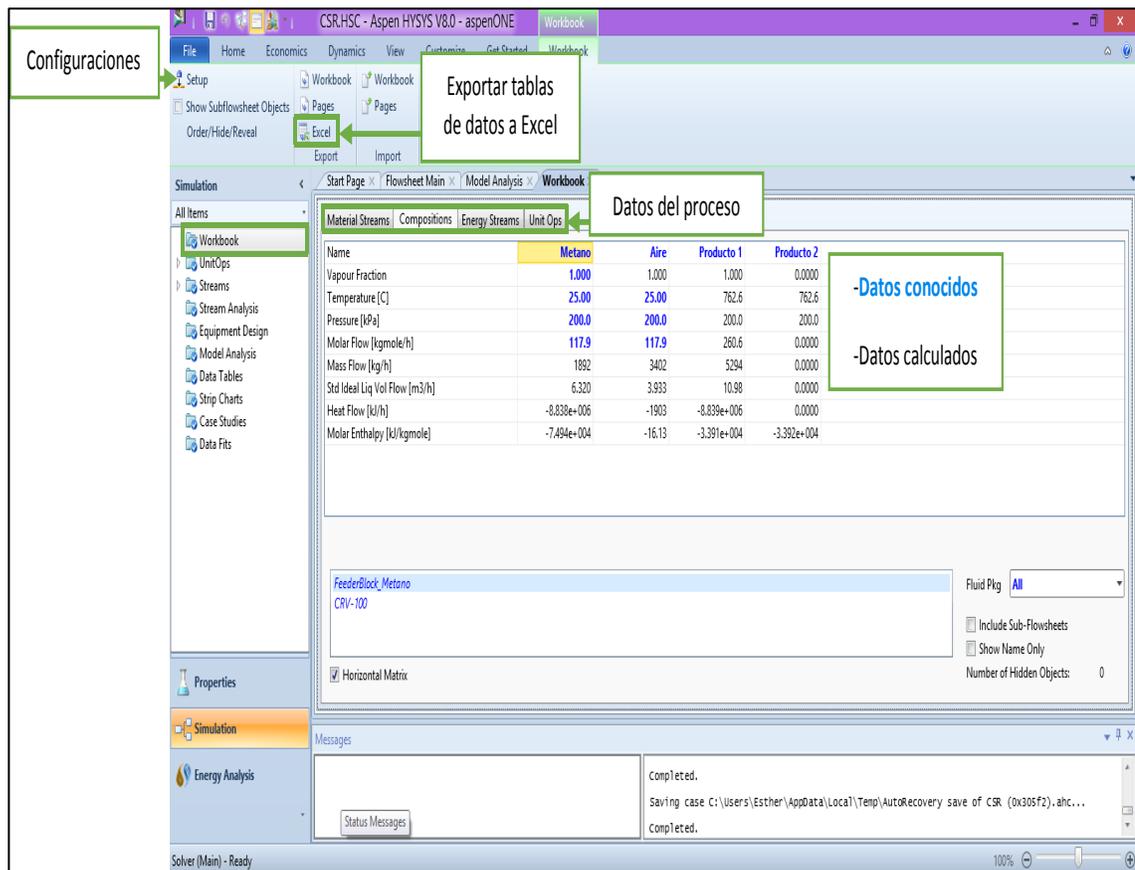
En la sección operaciones básicas se amplía sobre el tema.

4.11.2.6. Generar reporte

- Para visualizar el reporte seleccionar la carpeta 'Workbook' ubicada en el panel de navegación, se abrirá una nueva ventana en la que se desglosan los datos calculados del proceso y se organizan en 4 tablas ubicadas en cada pestaña (ver figura 18).
- Para visualizar los datos calculados en el diagrama de flujo:
 - Hacer clic en el botón 'workbook tables' (ver figura19).
 - Al realizar el paso anterior se abrirá una nueva ventana llamada 'select workbook page' con el nombre de 3 tipos de tablas de datos, seleccionar las que se desean visualizar, (ver figura 20).
 - Tabla de datos de las corrientes de materia
 - Tabla de datos de las composiciones
 - Tabla de datos de las corrientes de energía
- Exportar las tablas de datos en Excel:
 - Seleccionar el botón Excel ubicada en la barra de herramientas (ver figura 18).

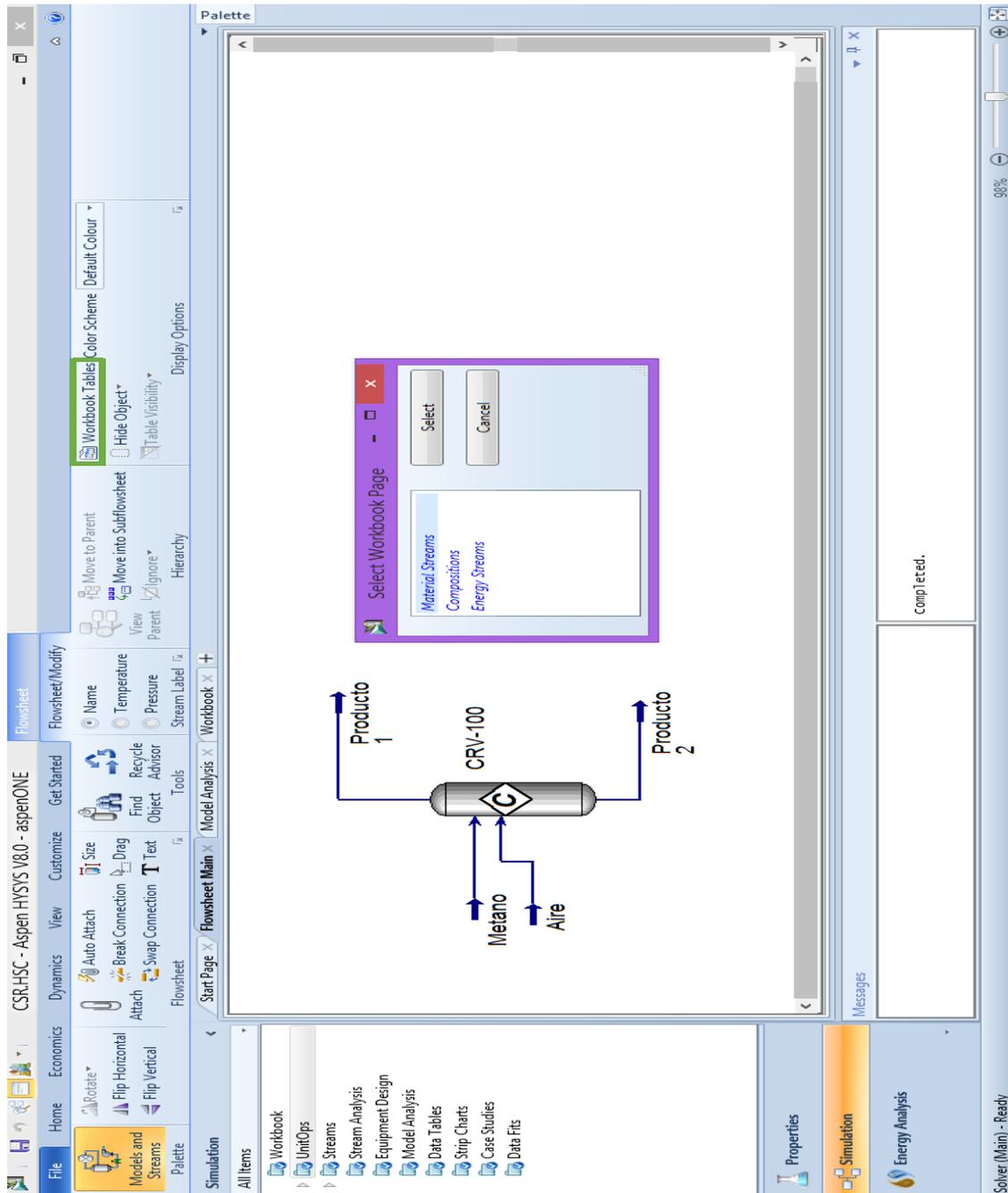
- Al realizar el paso anterior se abrirá una nueva ventana llamada 'Export page to Excel' con el nombre de 3 tipos de tablas de datos, seleccionar las que se desean visualizar (ver figura 21).
- Se abrirá un nuevo libro de Excel con las tablas de datos seleccionadas (ver figura 22).

Figura 19. 'Workbook'



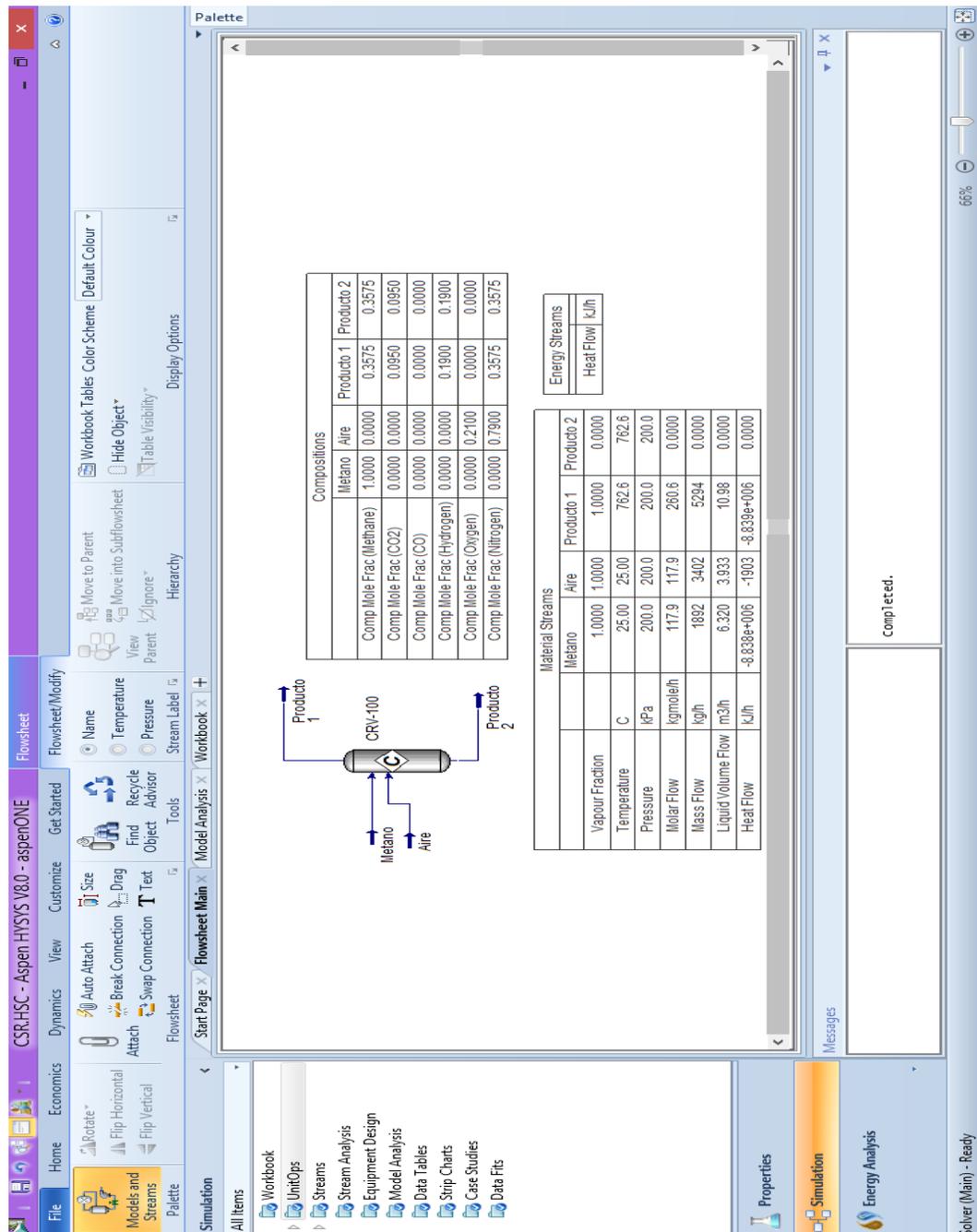
Fuente: elaboración propia, empleando Aspen HYSYS.

Figura 20. 'Workbook tables'



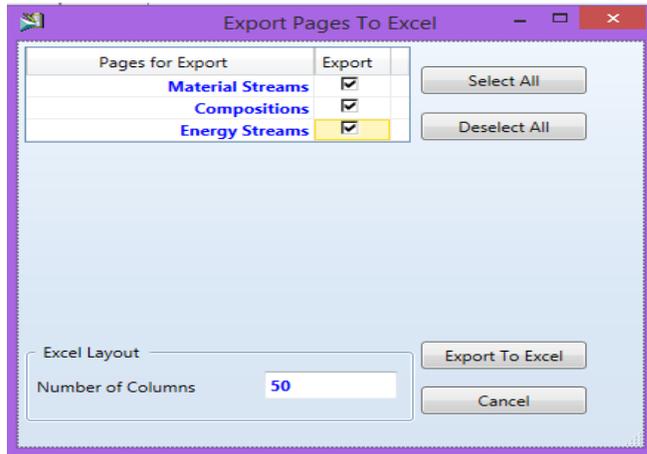
Fuente: elaboración propia, empleando Aspen HYSYS.

Figura 21. Visualización de la tabla de datos en el diagrama de flujo a partir de 'workbook tables'



Fuente: elaboración propia, empleando Aspen HYSYS.

Figura 22. Exportar tablas a Excel



Fuente: elaboración propia, empleando Aspen HYSYS.

Figura 23. Visualización de tabla de datos en Excel

	Unit	Metano	Aire	Producto 1	Producto 2
Vapour Fraction		1	1	1	0
Temperature	C	25	25	762.645654	762.645654
Pressure	kPa	200.016961	200.016961	200.016961	200.016961
Molar Flow	kgmole/h	117.935226	117.935226	260.63685	0
Mass Flow	kg/h	1892.02305	3402.46317	5294.45652	0
Liquid Volume Flow	m3/h	6.319509	3.93325	10.979098	0
Heat Flow	kJ/h	-8837600.24	-1902.52559	-8839421.23	0

Fuente: elaboración propia, empleando Aspen HYSYS.

4.11.3. Operaciones básicas

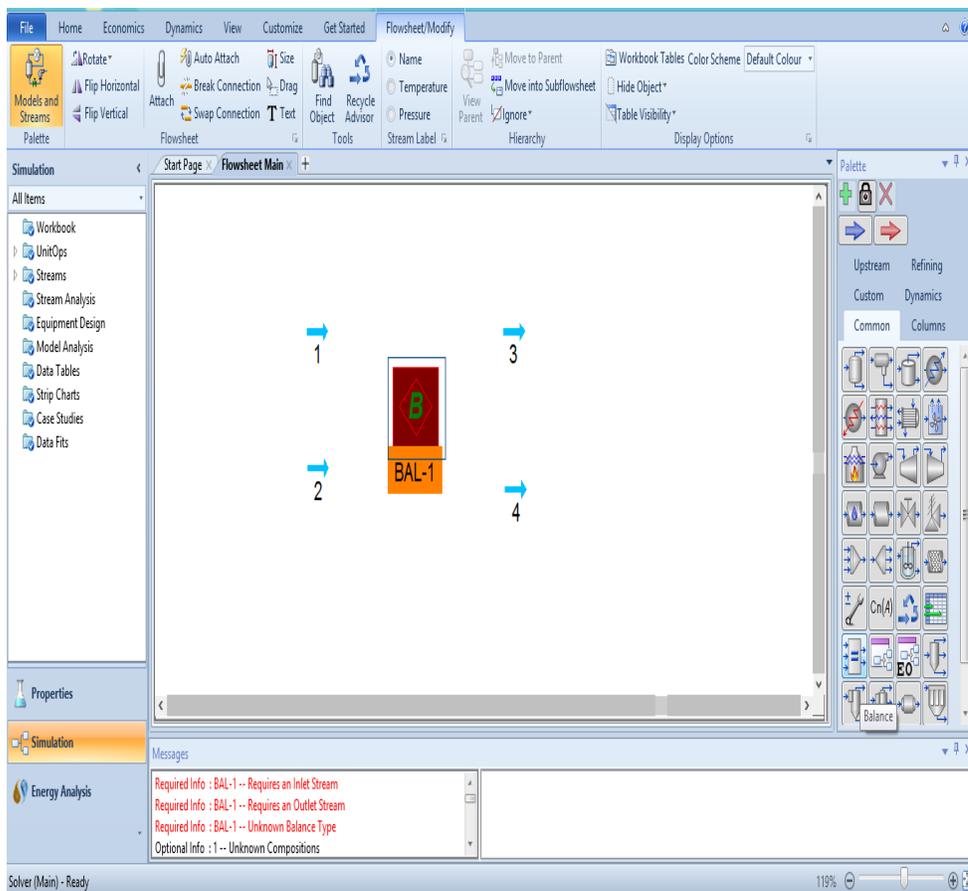
4.11.3.1. Balance de materia

Para realizar los balances de materia el software proporciona la herramienta 'Balance' que se encuentra dentro de la paleta de equipos en la carpeta llamada 'Commons'. El procedimiento es el siguiente:

- Seleccionar los componentes.
- Seleccionar el paquete de fluidos correspondiente a los componentes.
- Crear las corrientes de los componentes y especificar las condiciones de entrada y salida conocidas.
 - Nombre de la corriente
 - Composición
 - Flujo molar
- Seleccionar la herramienta 'Balance' (ver figura 23).
- Especificar las corrientes de entrada y salida en 'Connection' (ver figura 24).
- Seleccionar el tipo de balance en 'Parameters' (ver figura 25).
- Cuando el problema haya sido resuelto la barra de estado se tornará de color verde y en el diagrama de flujo todas las corrientes se tornarán de color azul.

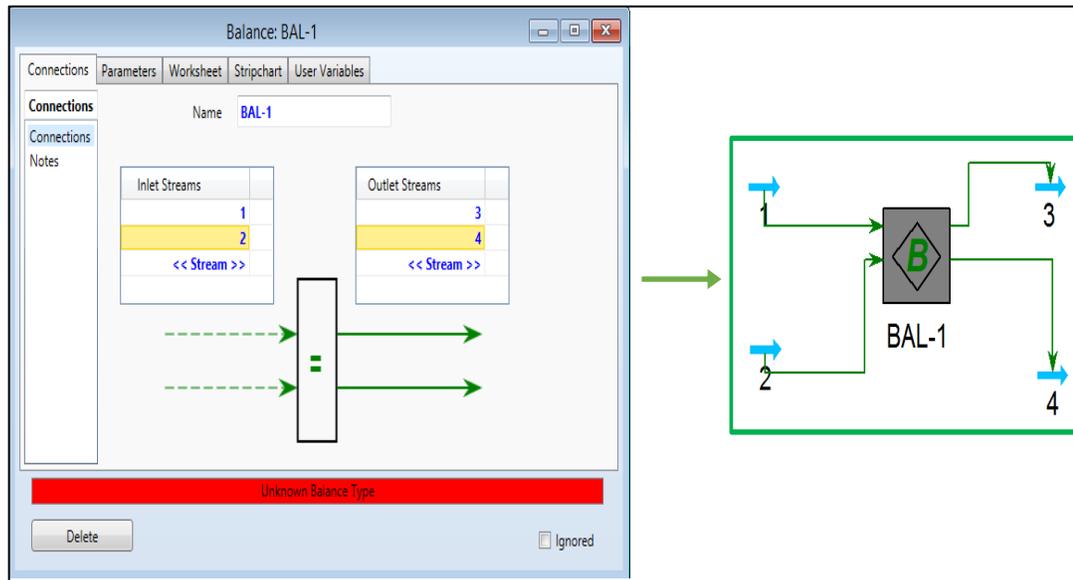
- Para observar el flujo de las corrientes hacer derecho sobre la flecha de la corriente y seleccionar la opción mostrar tabla 'show table' (ver figura 26).
- Para visualizar la composición de los componentes en las corrientes dar doble sobre la flecha y aparecerá la ventana 'Worksheet', ahí se encuentra la opción 'composition' en la cual estarán tabulados los valores.

Figura 24. **Seleccionar la herramienta 'balance'**



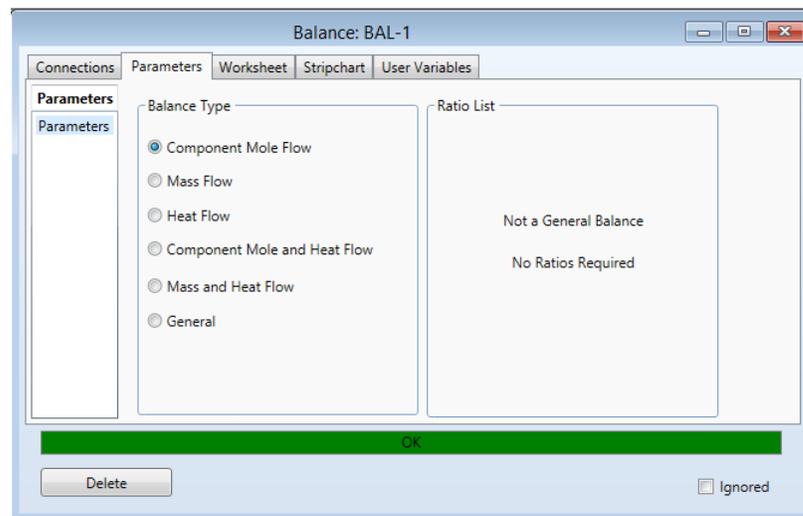
Fuente: elaboración propia, empleando Aspen HYSYS.

Figura 25. 'Conecctions'



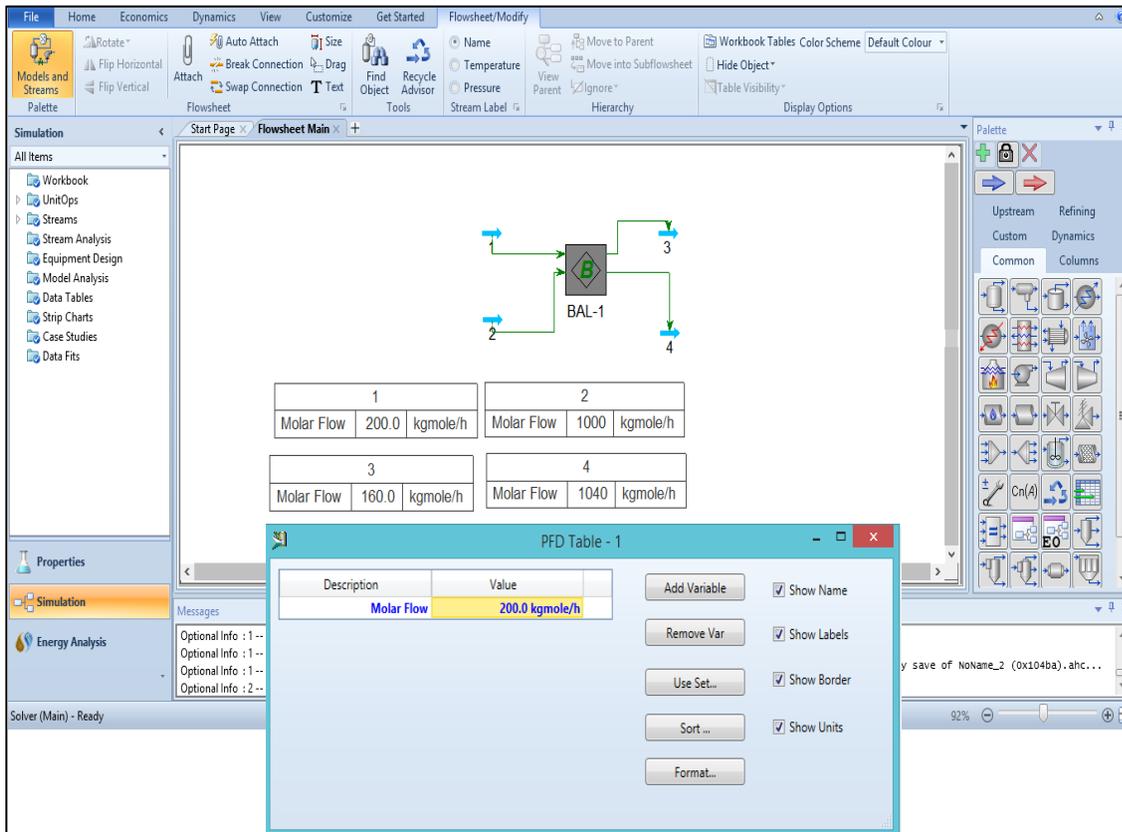
Fuente: elaboración propia, empleando Aspen HYSYS.

Figura 26. 'Parameters', herramienta 'balance'



Fuente: elaboración propia, empleando Aspen HYSYS.

Figura 27. Datos calculados, herramienta 'balance'



Fuente: elaboración propia, empleando Aspen HYSYS.

4.11.3.2. Flujo de fluidos

4.11.3.2.1. Tuberías en horizontal

El procedimiento es el siguiente:

- Seleccionar el componente.
- Seleccionar el paquete de fluidos correspondiente al componente.

- Crear las corrientes de los componentes y especificar las condiciones de entrada y salida conocidas.
 - Temperatura
 - Presión
 - Caudal

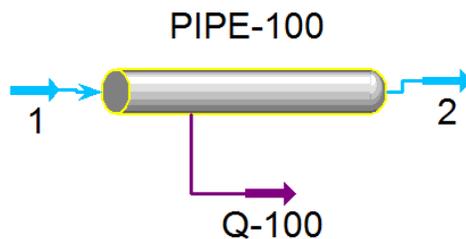
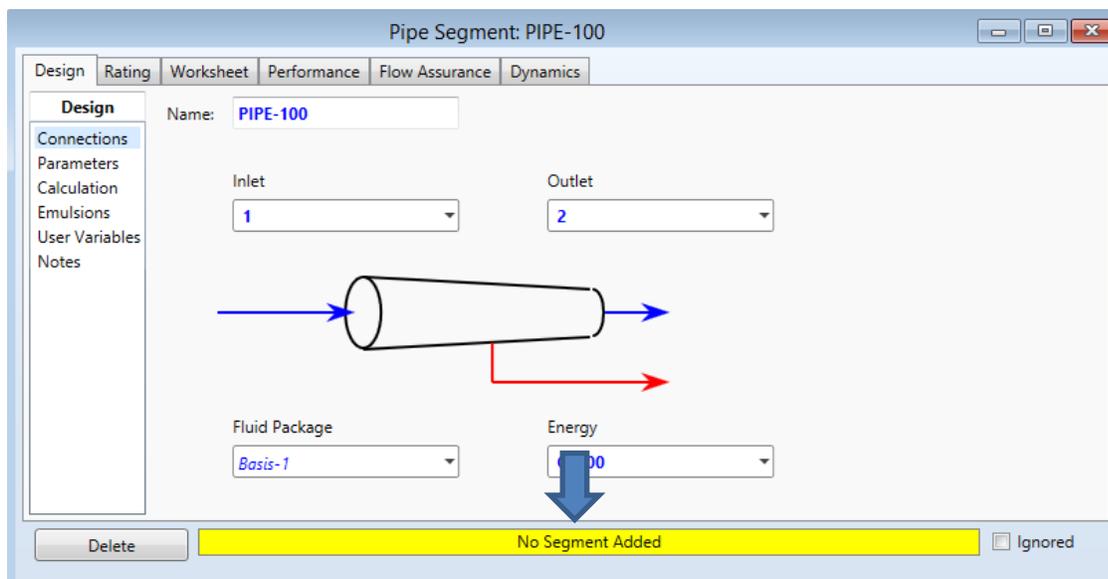
- Seleccionar el equipo 'Pipe Segment' y especificar sus condiciones.
 - Especificar las corrientes de entrada y salida de materia y energía dando en 'UnitOps' y la pestaña 'design' opción 'Connection' (ver figura 27).

 - Especificar las características de la tubería en la pestaña 'rating' opción 'sizing' dando en el botón 'appened segment' (ver figura 28).
 - Largo de la tubería
 - Diámetro interno
 - Diámetro externo

 - Especificar la transferencia de energía dentro de la tubería para ello se selecciona dentro de la pestaña 'rating' la opción 'heat transfer'. Si no se desea tener transferencia de energía se coloca 0kJ/h (ver figura 29).
 - Verificar si existe algún mensaje en barra de estado y realizar la corrección (ver figura 29).

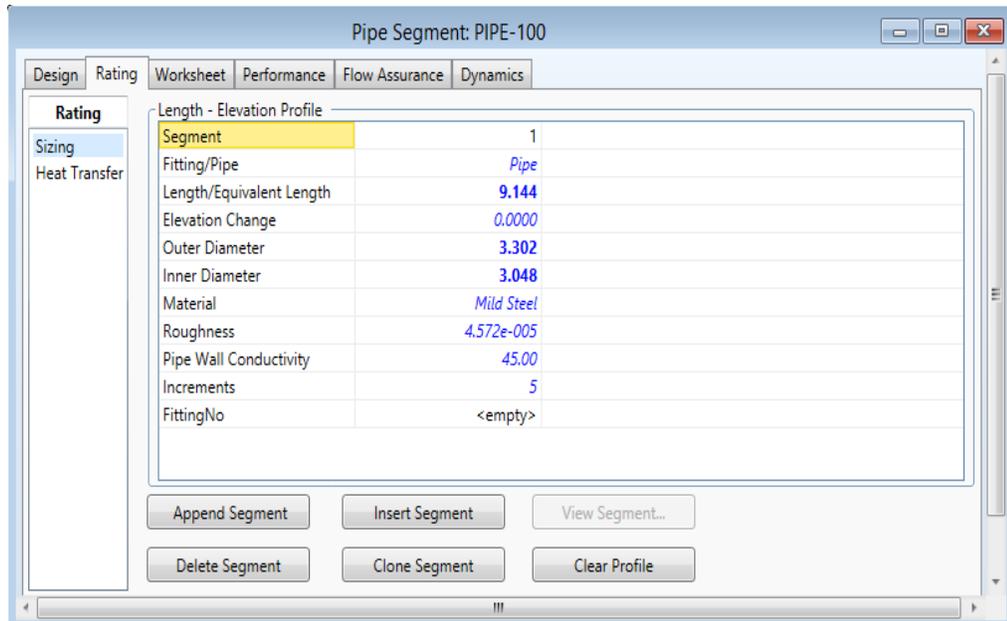
- Cuando el problema haya sido resuelto la barra de estado se tornará de color verde y en el diagrama de flujo todas las corrientes se tornaran de color azul.
- Para visualizar los valores que el software ha calculado se puede añadir la tabla de información (ver figura 30) en el diagrama de flujo o dirigirse a la carpeta 'workbook'.

Figura 28. 'Connection' en tubería



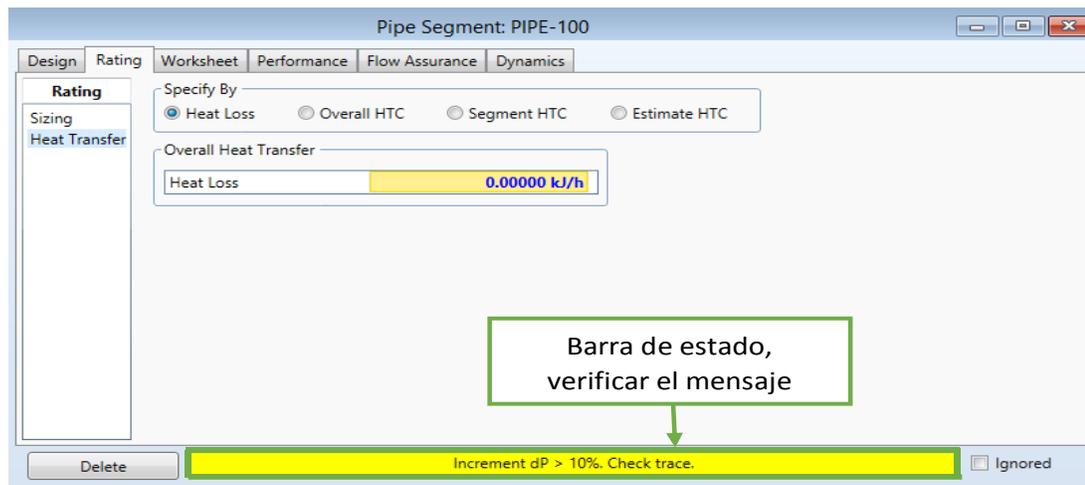
Fuente: elaboración propia, empleando Aspen HYSYS.

Figura 29. 'Rating' opción 'sizing'



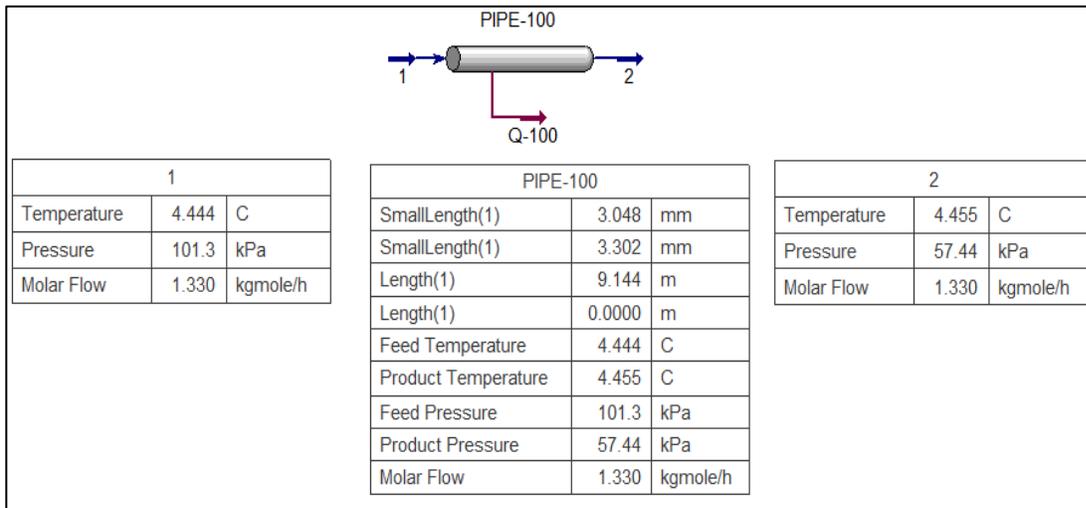
Fuente: elaboración propia, empleando Aspen HYSYS.

Figura 30. 'Rating' opción 'heat transfer'



Fuente: elaboración propia, empleando Aspen HYSYS.

Figura 31. **Datos calculados, tuberías**



Fuente: elaboración propia

4.11.3.2.2. Bombas

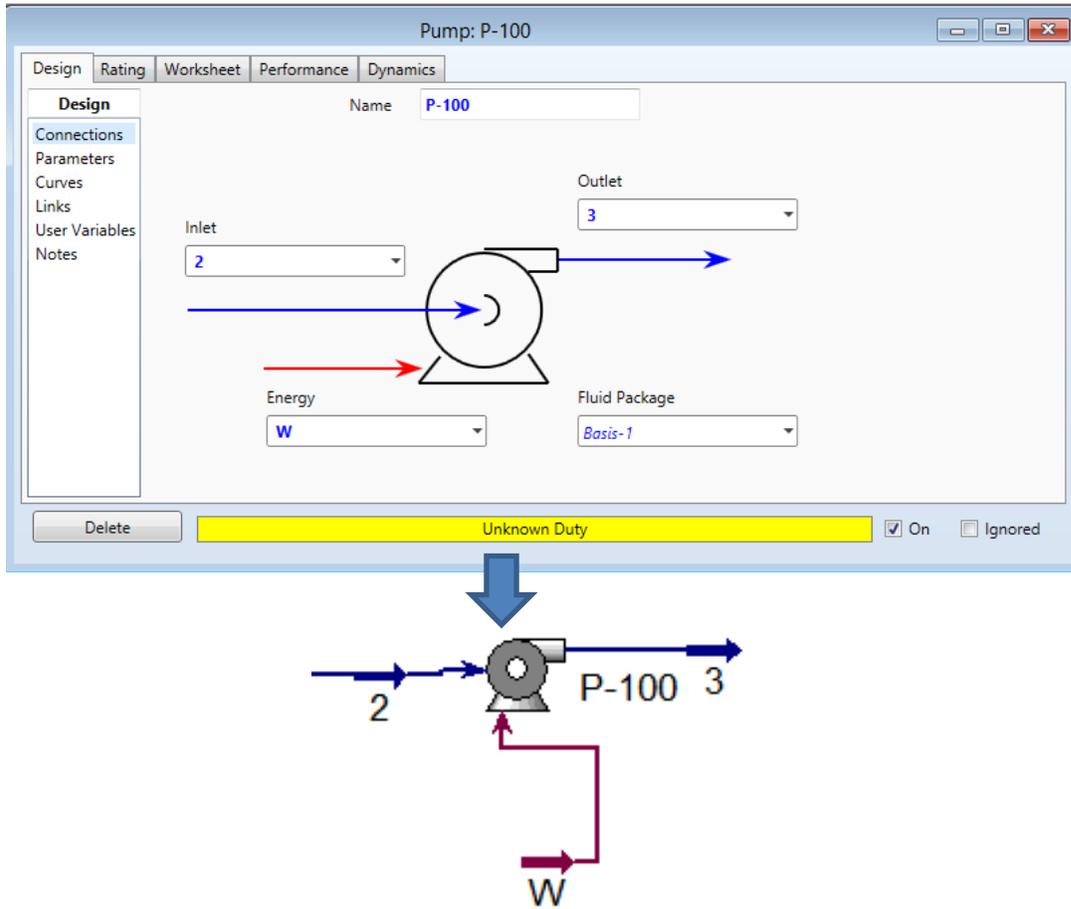
El procedimiento es el siguiente:

- Especificar las condiciones de las corrientes.
 - Composición
 - Presión
 - Temperatura
 - Flujo

- Seleccionar el equipo 'pump' y especificar sus condiciones.
 - Especificar las corrientes de entrada y salida de materia y energía dando en 'UnitOps' y la pestaña 'design' opción 'connection' (ver figura 31).

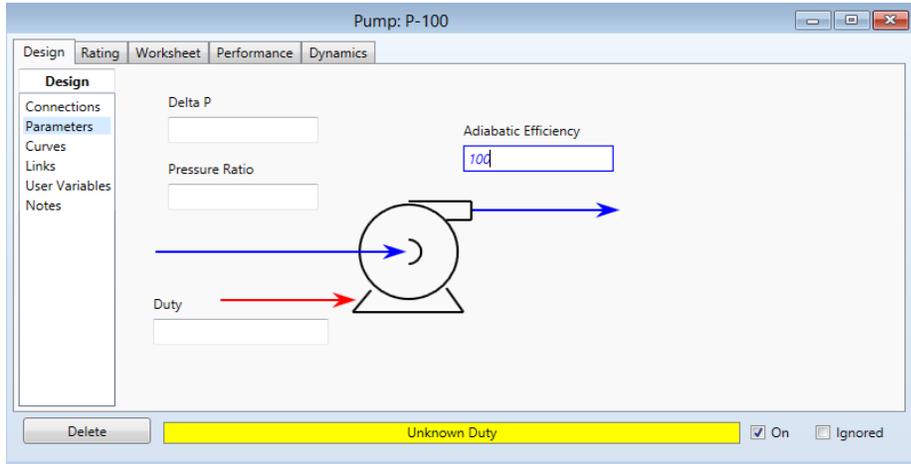
- Especificar las condiciones de trabajo de la bomba en 'parameters' (ver figura 32)
 - 'Adiabatic efficiency'
 - 'Delta P' (opcional)
 - 'Pressure ratio' (opcional)
 - 'Duty' (opcional)
- Para calcular la potencia requerida para superar la caída de presión se debe colocar la presión de la corriente de entrada (1) en la corriente de salida (3).
- Cuando el problema haya sido resuelto la barra de estado se tornará de color verde y en el diagrama de flujo todas las corrientes se tornarán de color azul.
- Para visualizar los valores que el software ha calculado se puede añadir la tabla de información (ver figura 33) en el diagrama de flujo o dirigirse a la carpeta 'workbook'.

Figura 32. 'Conections' en bombas



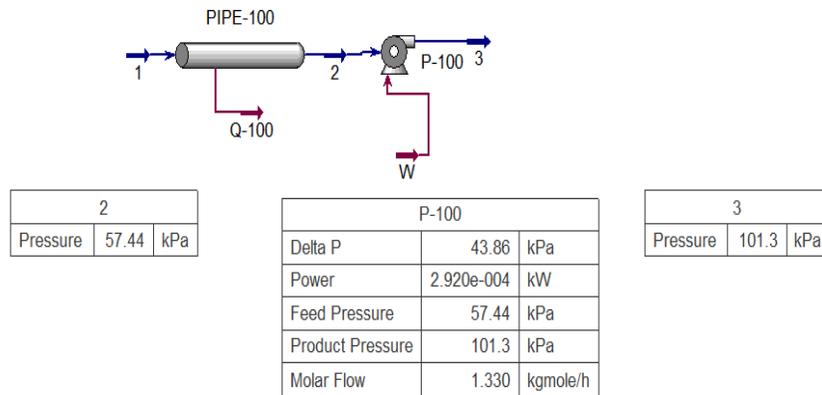
Fuente: elaboración propia, empleando Aspen HYSYS.

Figura 33. 'Parameters' en bombas



Fuente: elaboración propia, empleando Aspen HYSYS.

Figura 34. Datos calculados, bombas



Fuente: elaboración propia, empleando Aspen HYSYS.

4.11.3.2.3. Compresores

El procedimiento es el siguiente:

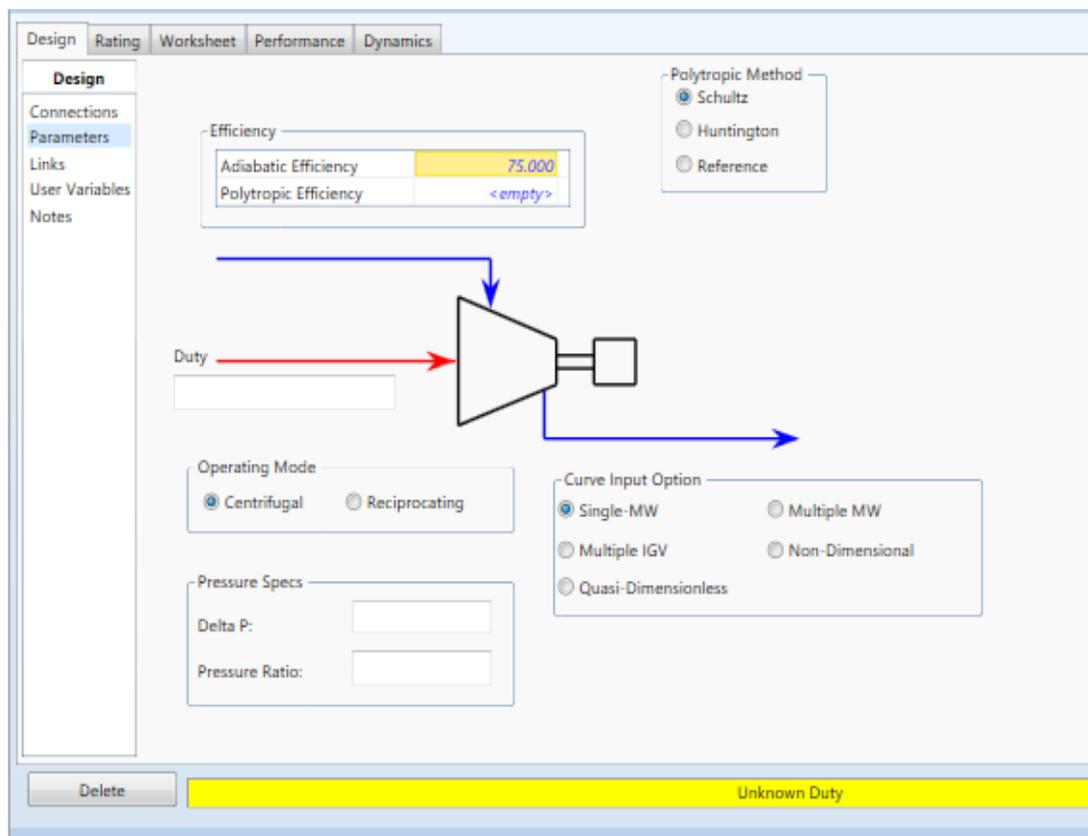
- Crear y especificar las condiciones de las corrientes:
 - Corriente de entrada
 - Temperatura
 - Presión
 - Composición
 - Flujo
 - Corriente de salida
 - Presión
 - Temperatura

Nota: es necesario especificar al menos una de las dos variables.

- Seleccionar el equipo 'compresor' y especificar sus condiciones.
 - Especificar las corrientes de entrada y salida de materia y energía dando en 'UnitOps' y la pestaña 'design' opción 'connection'.
 - Especificar las condiciones de trabajo del equipo en 'parameters' (ver figura 34)

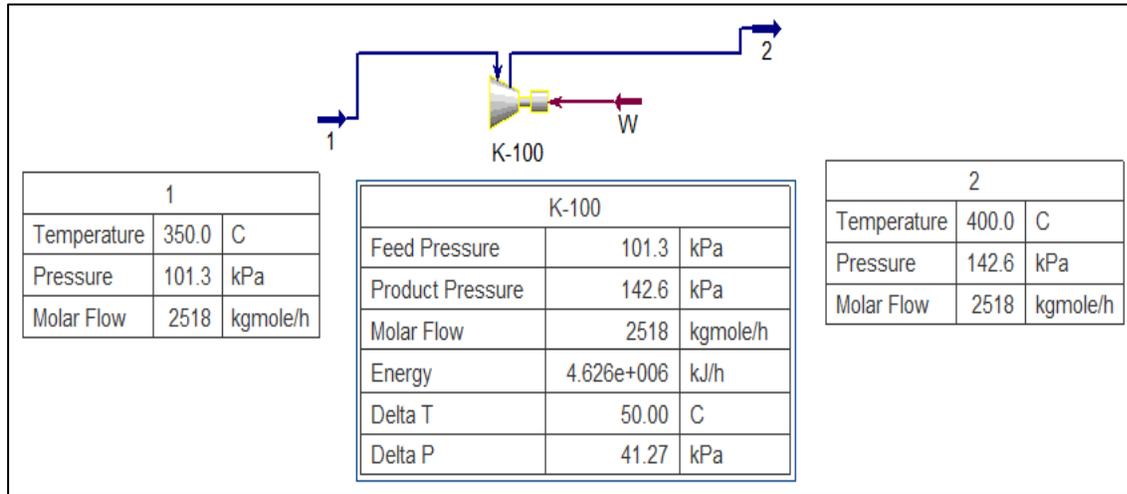
- Cuando el problema haya sido resuelto la barra de estado se tornará de color verde y en el diagrama de flujo todas las corrientes se tornaran de color azul.
- Para visualizar los valores que el software ha calculado se puede añadir la tabla de información (ver figura 35) en el diagrama de flujo o dirigirse a la carpeta 'workbook'.

Figura 35. 'Parameters', Compresores



Fuente: elaboración propia, empleando Aspen HYSYS.

Figura 36. **Datos calculados, compresores**



Fuente: elaboración propia, empleando Aspen HYSYS.

4.11.3.3. Intercambiadores de calor

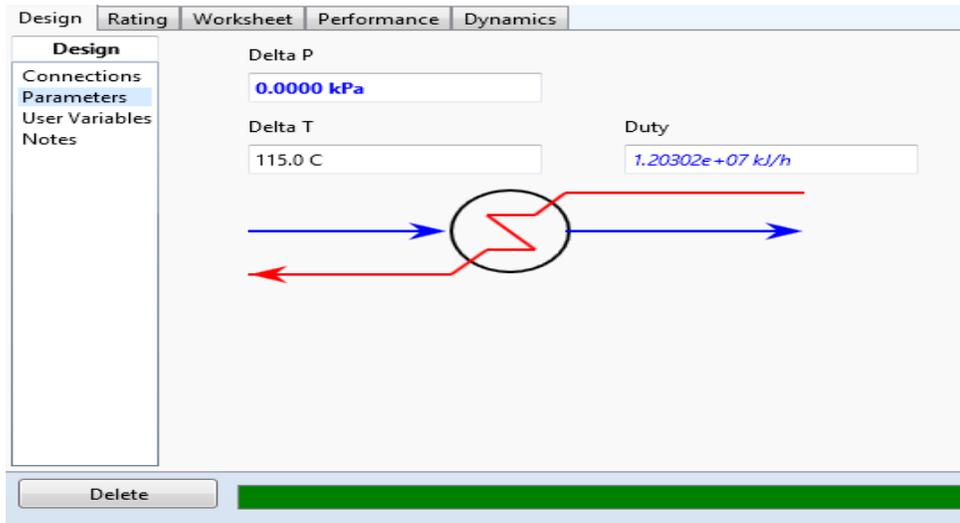
4.11.3.3.1. Evaporadores

El procedimiento es el siguiente:

- Crear y especificar las condiciones de la corriente de entrada y la deseada en la corriente de salida.
 - Temperatura
 - Presión
 - Composición
 - Flujo

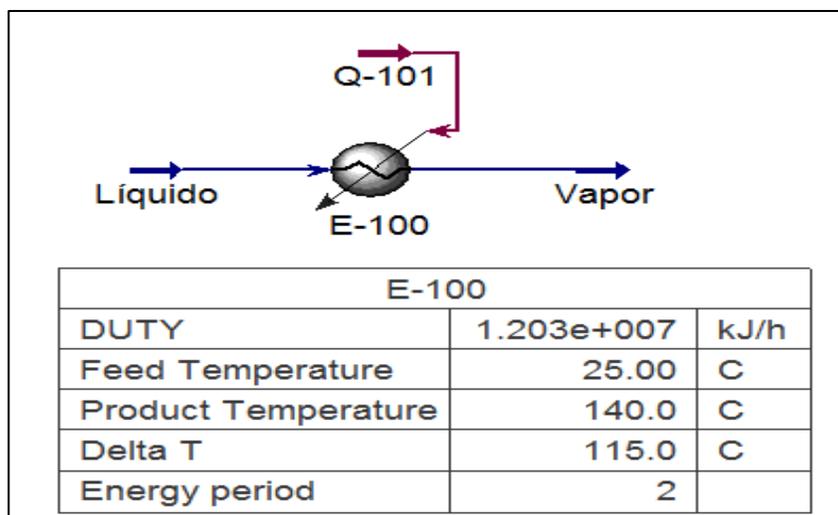
- Seleccionar el equipo 'heater' y especificar sus condiciones.
 - Especificar las corrientes de entrada y salida de materia y energía dando en 'UnitOps' y la pestaña 'design' opción 'connection'.
 - Especificar las condiciones de trabajo del equipo en 'parameters' (ver figura 36).
 - 'Delta P'
 - 'Delta T'
 - 'Duty'
- Cuando el problema haya sido resuelto la barra de estado se tornará de color verde y en el diagrama de flujo todas las corrientes se tornaran de color azul.
- Para visualizar los valores que el software ha calculado se puede añadir la tabla de información (ver figura 37) en el diagrama de flujo o dirigirse a la carpeta 'workbook'.

Figura 37. 'Parameters', evaporador



Fuente: elaboración propia, empleando Aspen HYSYS.

Figura 38. Datos calculados, evaporador



Fuente: elaboración propia, empleando Aspen HYSYS.

4.11.3.4. Operaciones con reacciones

4.11.3.4.1. Conversión de reacción

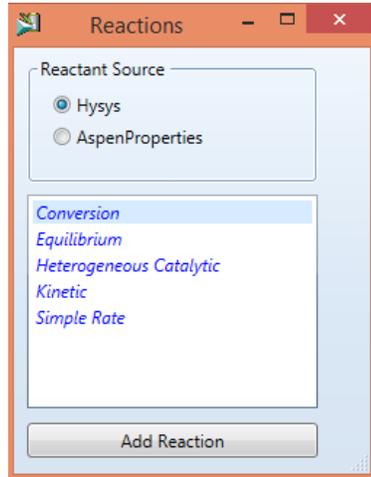
El procedimiento es el siguiente:

- Seleccionar los componentes.
- Seleccionar el paquete de fluidos correspondiente a los componentes.
- Especificar las reacciones que se llevaran a cabo en el proceso a seleccionando la carpeta 'reactions' ubicada en el panel de navegación el cual nos presenta 2 opciones para añadir las reacciones:
 - A partir del botón 'add'
 - Nombrar la carpeta.
 - Hacer clic en el botón 'add reaction' y se abrirá una nueva ventana llamada 'reactions' (ver figura 38) y seleccionar la opción 'conversion'.
 - Hacer doble en Rxn-1 y se abrirá una nueva ventana llamada 'conversión Rxn-1' en donde se ingresa la reacción (ver figura 39).
 - ✓ Añadir los componentes
 - ✓ Especificar los coeficientes de la reacción

- ✓ Definir el componente base
 - ✓ Especificar porcentaje de Co
 - Hacer en el botón 'add PF' y al aparecerá la nueva ventana llamada 'Add Set-' (ver figura 40) hacer en el botón 'Add set to fluid package'.
 - A partir del botón 'Import'
- Crear las corrientes de los componentes y especificar las condiciones de entrada y salida conocidas.
 - Temperatura
 - Presión
 - Flujo
 - Composición
 - Seleccionar el equipo 'conversion reactor' ubicada en la categoría de 'columns' y especificar sus condiciones.
 - Especificar las corrientes de entrada y salida de materia y energía dando en 'UnitOps' y la pestaña 'design' opción 'Connection' (ver figura 41).
 - Especificar las reacciones que se llevaran a cabo en la pestaña 'Reactions' (Ver figura 42).

- Cuando el problema haya sido resuelto la barra de estado se tornará de color verde y en el diagrama de flujo todas las corrientes se tornarán de color azul.
- Generar reporte:
 - Para visualizar los datos calculados en el diagrama de flujo:
 - Hacer clic en el botón 'workbook tables'
 - Al realizar el paso anterior se abrirá una nueva ventana llamada 'select workbook page' con 3 tipos de tablas de datos, seleccionar las que se desean visualizar.
 - ✓ Tabla de datos de las corrientes de materia
 - ✓ Tabla de datos de las composiciones
 - ✓ Tabla de datos de las corrientes de energía
 - Para generar el reporte dirigirse a la carpeta 'workbook' ubicada en el panel de navegación (ver figura 43).

Figura 39. Ventana 'reactions'



Fuente: elaboración propia, empleando Aspen HYSYS.

Figura 40. Ventana 'conversion Rxn-1'

$$CH_4 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow CO + 2H_2$$

Component	Mole Weight	Stoich Coeff
Methane	16.043	-1.000
Hydrogen	2.016	2.000
Oxygen	32.000	-0.500
CO	28.011	1.000
Add Comp		

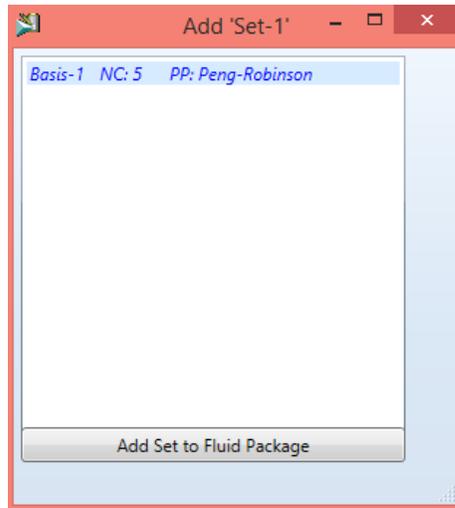
Base Component	
Rxn Phase	Methane Overall
Co	40.00
C1	<empty>
C2	<empty>

Conversion (%) = Co + C1*T + C2*T^2
(T in Kelvin)

Balance Error: 0.00000
Reaction Heat (25 C): -3.6e+04 kJ/kgmole

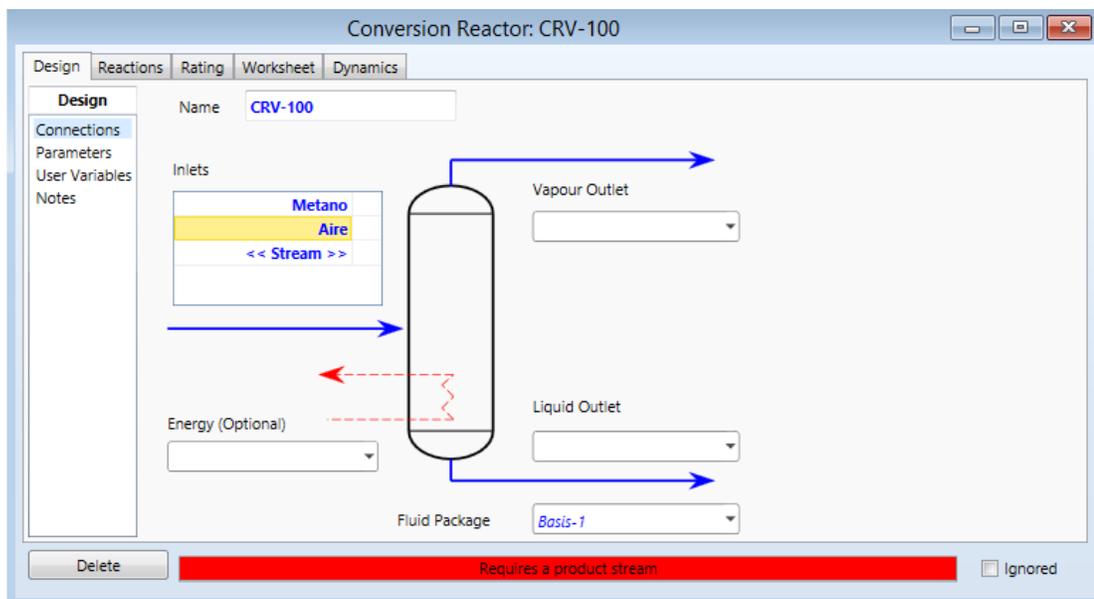
Fuente: elaboración propia, empleando Aspen HYSYS.

Figura 41. **Ventana 'add Set-1'**



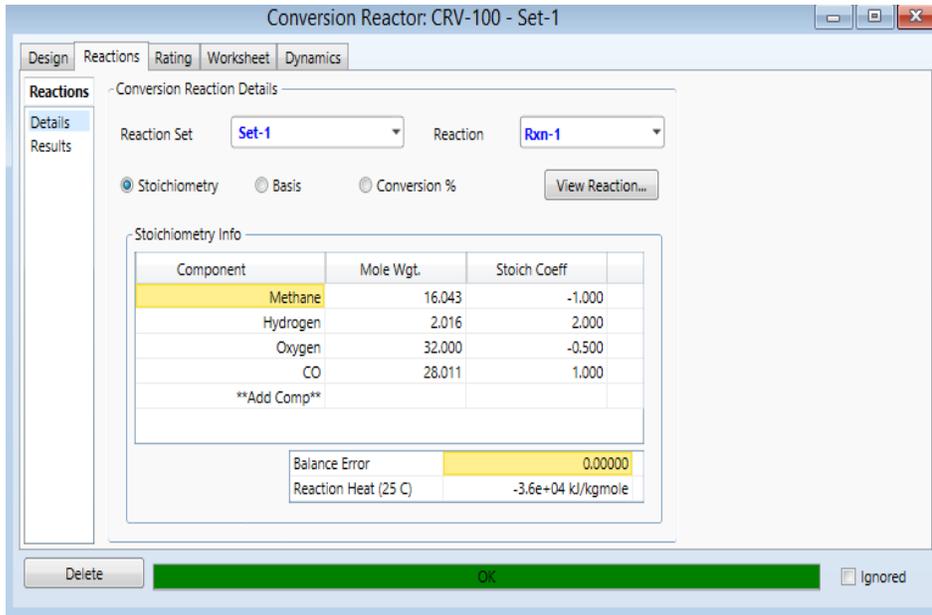
Fuente: elaboración propia, empleando Aspen HYSYS.

Figura 42. **'Conection', reactor de conversión**



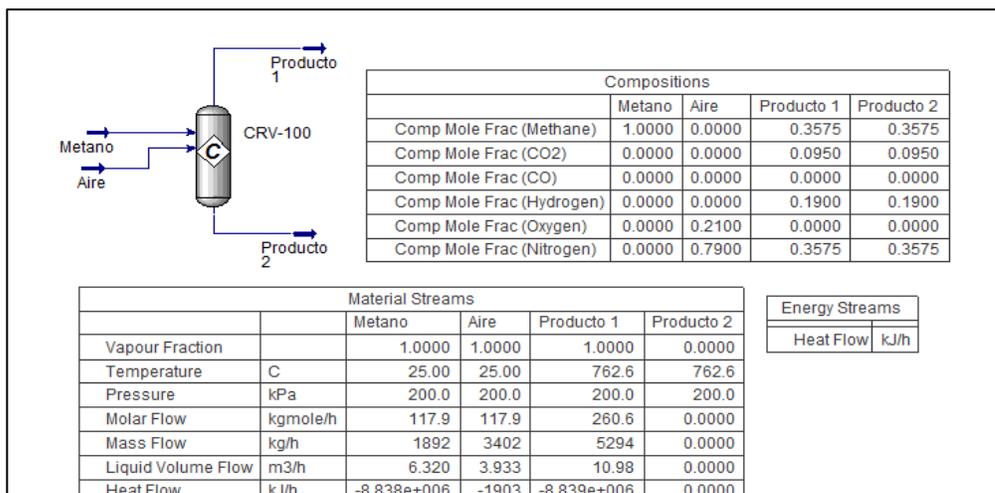
Fuente: elaboración propia, empleando Aspen HYSYS.

Figura 43. Especificación de reacciones



Fuente: elaboración propia, empleando Aspen HYSYS.

Figura 44. Creación del reporte desde 'workbook'



Fuente: elaboración propia, empleando Aspen HYSYS.

4.11.3.5. Optimización de diagramas de flujo

4.11.3.5.1. Columna de destilación

El procedimiento es el siguiente:

- Seleccionar los componentes
- Seleccionar el paquete de fluidos correspondiente a los componentes
- Crear la corriente de alimentación y especificar sus condiciones:
 - Temperatura
 - Presión
 - Composición
 - Flujo

- Seleccionar el equipo 'distillation component' ubicada en la categoría de 'columns' y especificar sus condiciones.
 - Ventana 1: (ver figura 44)
 - Especificar las corrientes de entrada y salida de materia y energía.
 - Especificar número de platos.
 - Seleccionar tipo de condensado.
 - ✓ Total-'total'
 - ✓ Parcial-'partial'
 - ✓ Reflujo completo-'full reflux'

- Ventana 2: configuración del 'reboiler' (ver figura 45)
- Ventana 3: especificar presiones
 - Presión en el condensador
 - Presión en el 'reboiler'
- Ventana 4: opcional, especificación de temperaturas (ver figura 46)
 - Temperatura en el condensador
 - Temperatura en el 'reboiler'
- Ventana 5 (ver figura 47)
 - Especificar base del flujo
 - ✓ Molar
 - ✓ Másico
 - ✓ Volumétrico
 - Especificar la relación de reflujo 'reflux ratio'
 - Especificar la relación de líquido 'liquid ratio'
- Seleccionar la carpeta 'UnitsOps' se abrirá una nueva ventana dentro de la cual se despliegan otras subcarpetas en el lado izquierdo; seleccionar 'monitor' y se abrirá otra ventana con nuevas opciones; seleccionar el botón 'add specs' ubicada en la parte inferior de la ventana; esto nuevamente abrirá una nueva ventana con un listado de tipos de especificaciones entre las cuales se debe seleccionar 'column

component fraction' ; al realizar este paso se abre una nueva ventana en la que debemos especificar sus condiciones (ver figura 48).

- Nombre
- Equipo
- Base del flujo
- Fase
- Valor
- Componente

Nota: realizar este paso con cada componente, (ver figura 49).

- En la ventana de la subcarpeta 'monitor' se puede observar el área llamada 'specifications' en la que se debe especificar que variables se deben calcular y cuales se conocen (ver figura 50).
- Cuando el problema haya sido resuelto la barra de estado se tornará de color verde.

4.11.3.5.2. Optimizando con la herramienta 'optimizer'

- Presionar la tecla F5 y se abrirá una ventana llamada 'optimizer'.
- En la pestaña 'configuration' seleccionar el tipo de modelo de datos, (ver figura 51).

- Seleccionar la pestaña 'variables' y hacer clic en el botón 'add' ubicado en la parte inferior de la ventana. Se abrirá una nueva ventana (ver figura 52) titulada 'add variables to optimizer' y especificar:
 - Objeto
 - Variable
 - Variable específica

Nota: realizar este paso con cada componente.

- Cambiar los rangos 'low bound' y 'high bound' que son los rangos máximo y mínimo de pureza del destilado (ver figura 53)
- Al hacer clic en el botón 'SpreadSheet' ubicada en la parte inferior de la ventana 'variables' se abrirá una nueva ventana (ver figura 54), seleccionar la pestaña 'SpreadSheet' y en las columnas que proporcionan escribir y especificar las variables de entrada y salida.
 - Q condensador (calculado por el software)
 - Q 'reboiler' (calculado por el software)
 - Producción de THF (calculado por el software)
 - Pureza del producto THF (valor conocido)
 - Producción de tolueno (calculado por el software)
 - Pureza del producto tolueno (valor conocido)
 - Alimentación (flujo conocido)
 - Costo del condensador (valor conocido)
 - Costo del 'reboiler' (valor conocido)
 - Precio del THF (valor conocido)
 - Precio del tolueno (valor conocido)

- Precio de la alimentación (valor conocido)
- Ganancia (insertar ecuación)

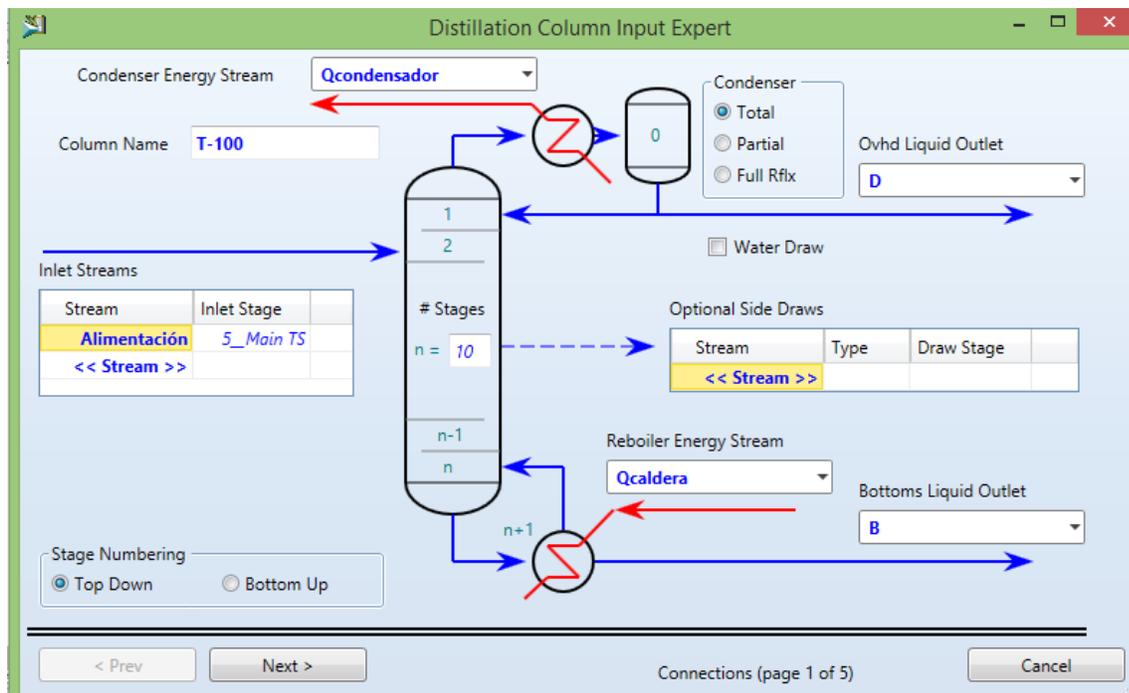
$$G = \sum_{i=1}^n P_{Pi} - (C_A + C_R + C_C)$$

- Para agregar los valores calculados por el software:
 - Hacer clic izquierdo sobre la columna de la par y seleccionar la opción 'import variable' (ver figura 55) y se abrirá una nueva ventana llamada 'select import for cell' (ver figura 56) y seleccionar la variable que desea importar.
 - Flujo de calor en el condensador
 - Flujo de calor en el 'reboiler'
 - Flujo de los productos
- Seleccionar la carpeta 'UnitsOps' se abrirá una nueva ventana dentro de la cual se despliegan nuevas pestañas, seleccionar 'parameters' y la subcarpeta 'solver' y escribir el valor del error de tolerancia que se desea lograr.
- Presionar la tecla F5 y se abrirá la ventana llamada 'optimizer' seleccionar la pestaña 'function', seleccionar la celda D8 y añadir al hacer clic en el botón 'add' en el punto mínimo y punto máximo (ver figura 57).
- Seleccionar la carpeta 'UnitsOps' se abrirá una nueva ventana dentro de la cual se despliegan nuevas pestañas, seleccionar 'Parameters' y la

subcarpeta 'solver'y escribir el valor del error de tolerancia que se desea lograr (1E-6) (ver figura 58).

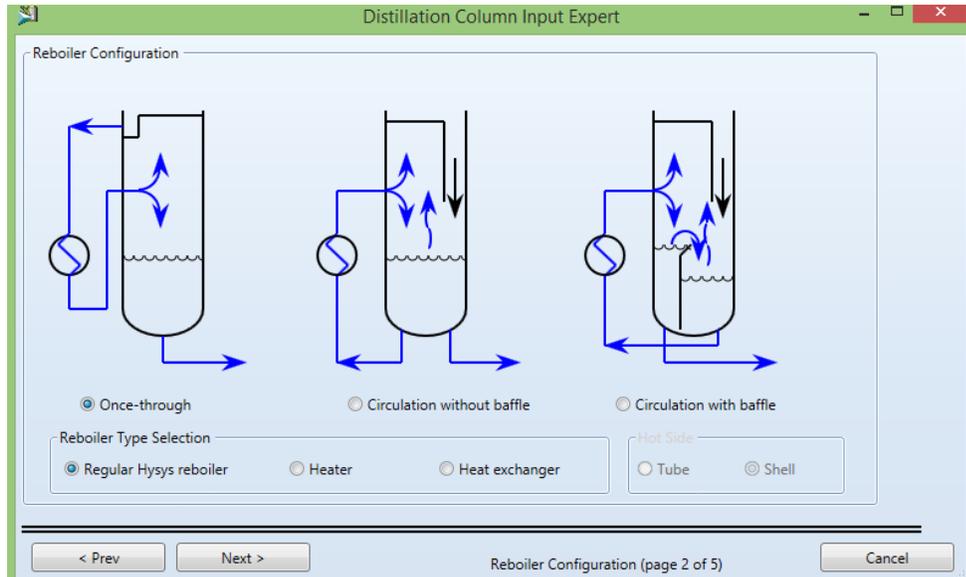
- Generar reporte (ver figura 59).

Figura 45. **Ventana 1, 'distillation'**



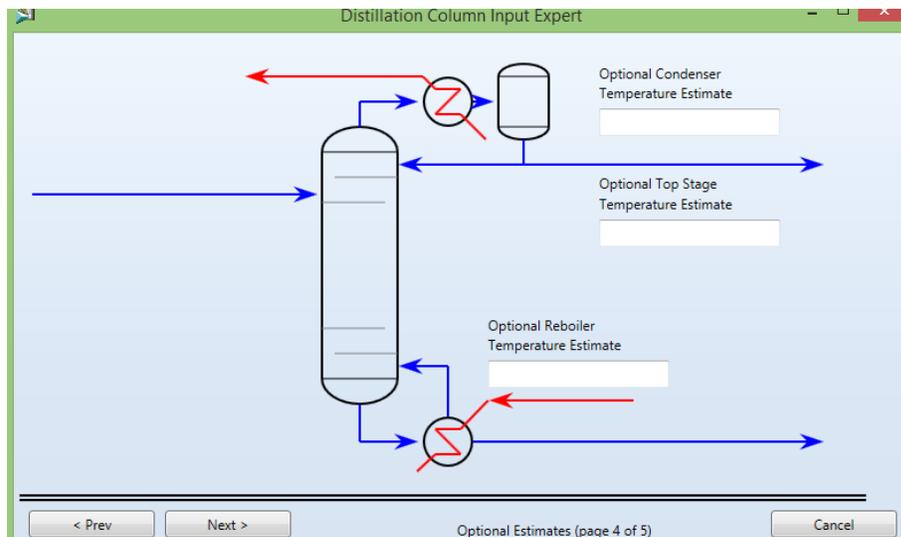
Fuente: elaboración propia, empleando Aspen HYSYS.

Figura 46. **Ventana 2, 'distillation'**



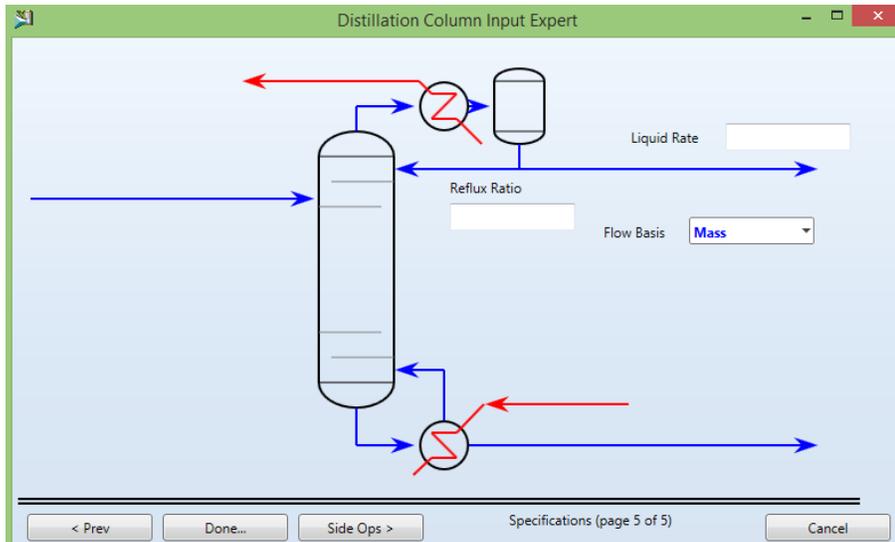
Fuente: elaboración propia, empleando Aspen HYSYS.

Figura 47. **Ventana 4, 'distillation'**



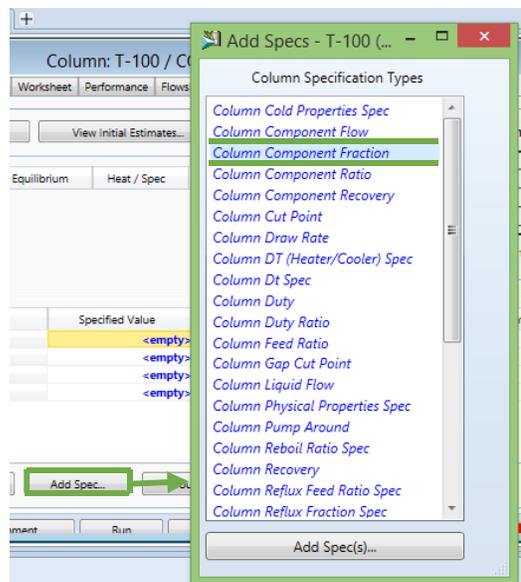
Fuente: elaboración propia, empleando Aspen HYSYS.

Figura 48. **Ventana 5, 'distillation'**



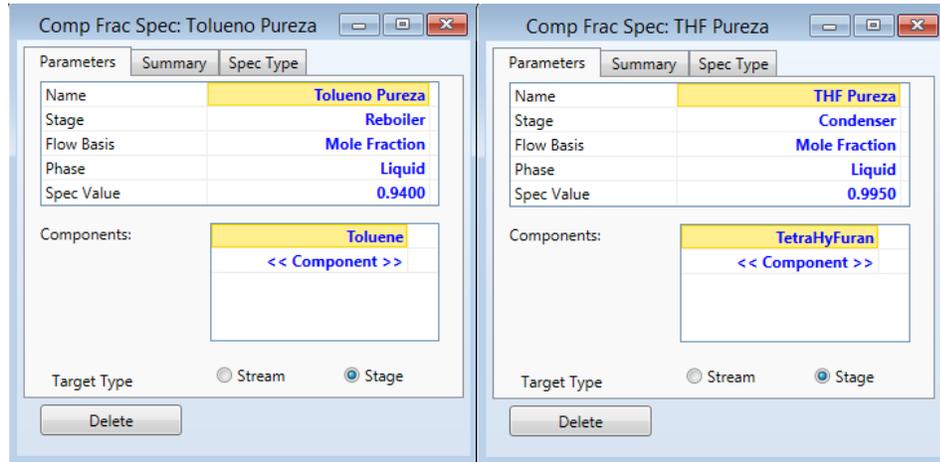
Fuente: elaboración propia, empleando Aspen HYSYS.

Figura 49. **'Monitor'**



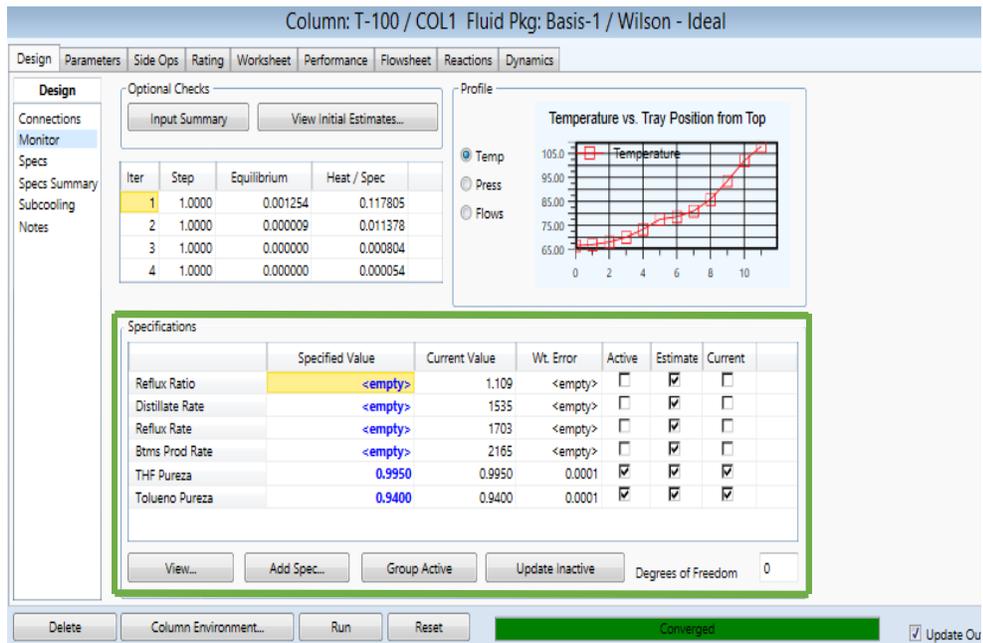
Fuente: elaboración propia, empleando Aspen HYSYS.

Figura 50. 'Column component fraction'



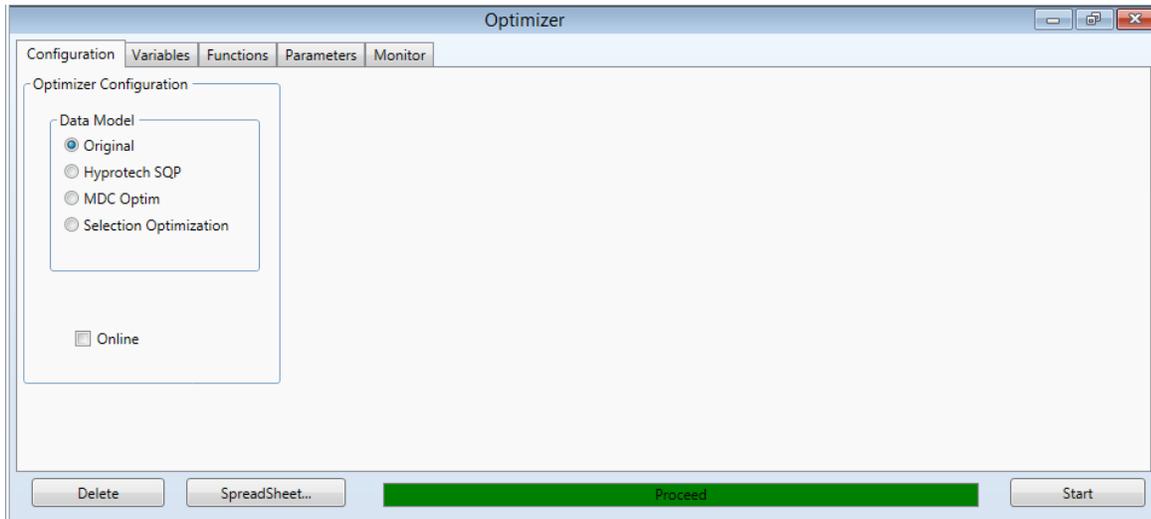
Fuente: elaboración propia, empleando Aspen HYSYS.

Figura 51. 'Specifications'



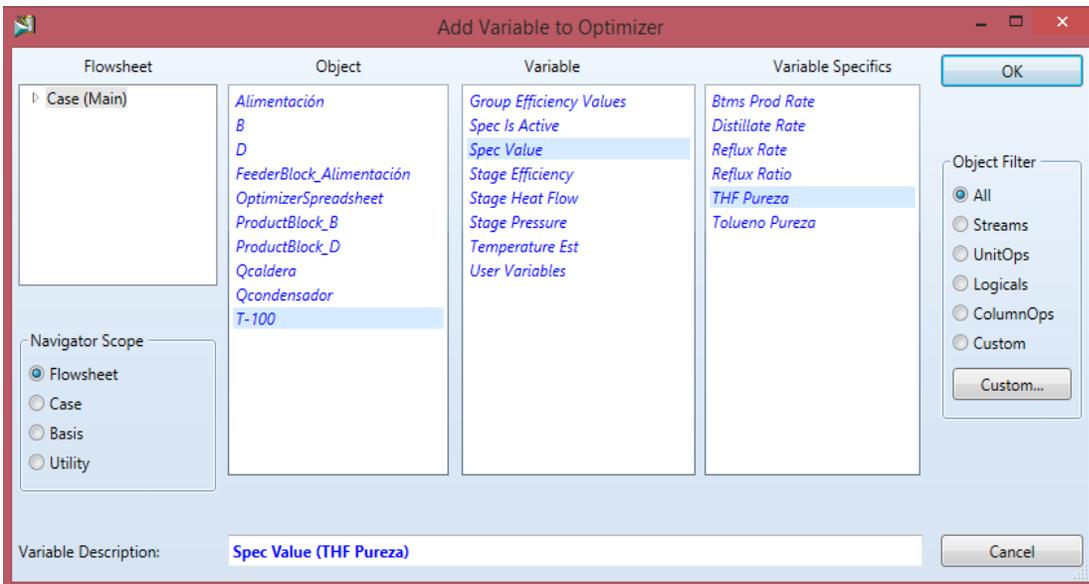
Fuente: elaboración propia, empleando HYSYS.

Figura 52. 'Optimizer, configuration'



Fuente: elaboración propia, empleando Aspen HYSYS.

Figura 53. 'Optimizer, variables'



Fuente: elaboración propia, empleando Aspen HYSYS.

Figura 54. Rangos de pureza

Object	Variable Description	Low Bound	Current Value	High Bound	Reset Value	Enabled
T-100	Spec Value (THF Pureza)	0.9900	0.9950	0.9990	<empty>	<input checked="" type="checkbox"/>
T-100	Spec Value (Tolueno Pureza)	0.9000	0.9400	0.9900	<empty>	<input checked="" type="checkbox"/>

Fuente: elaboración propia, empleando Aspen HYSYS.

Figura 55. 'SpreadSheet'

Select Import for cell

Flowsheet: Case (Main)

Object: Alimentación, B, D, FeederBlock_Alimentación, ProductBlock_B, ProductBlock_D, Qcaldera, Qcondensador, T-100

Variable: Heat Flow, Heat Flow2, Mass Flow, Overall UA, Power, Power2, Properties, Temperature Approach, User Variables, Utility flow rate, Utility Fluid Cp, Utility Fluid Holdup, Utility Heat Flow, Utility Inlet Temp, Utility maximum flow rate, Utility minimum flow rate

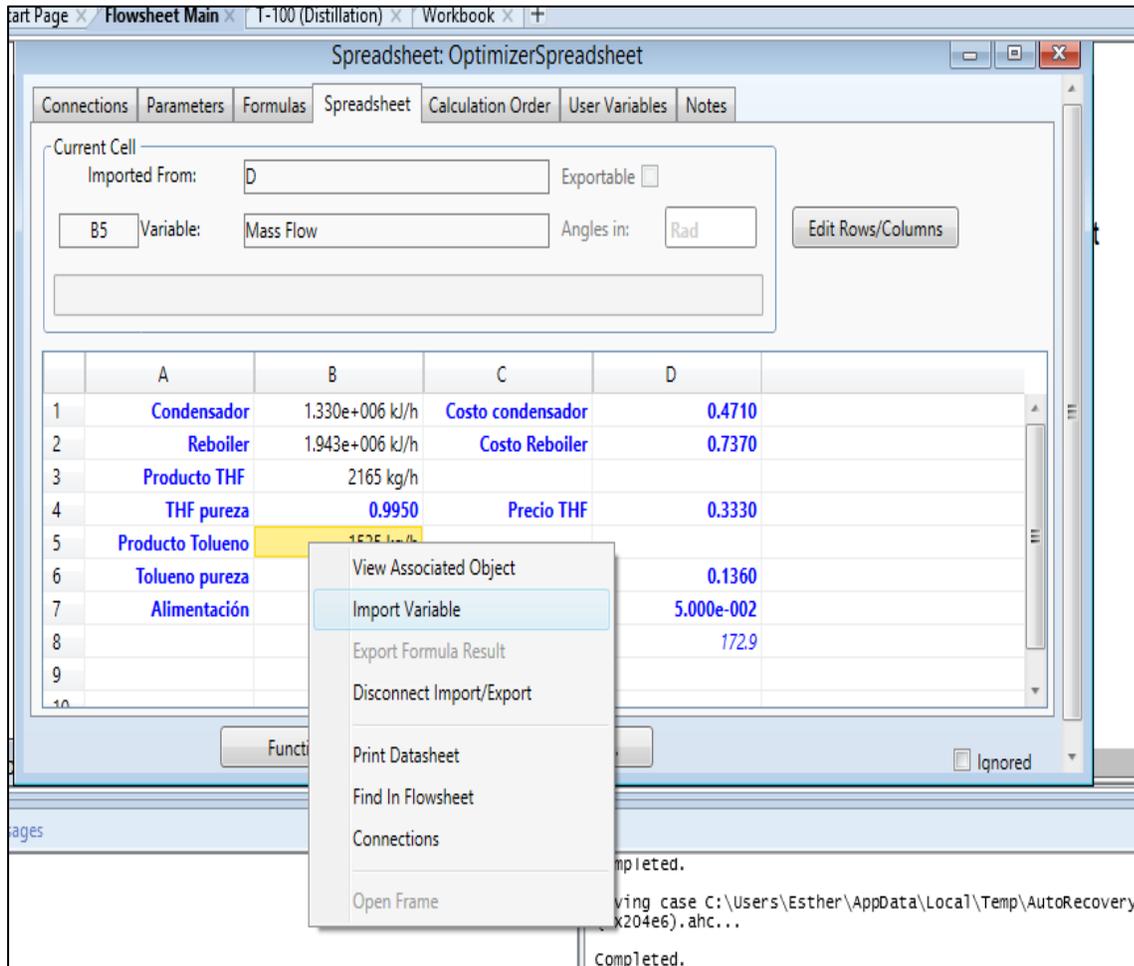
Variable Description: Heat Flow

Object Filter: All, Streams, UnitOps, Logicals, ColumnOps, Custom

Buttons: OK, Cancel

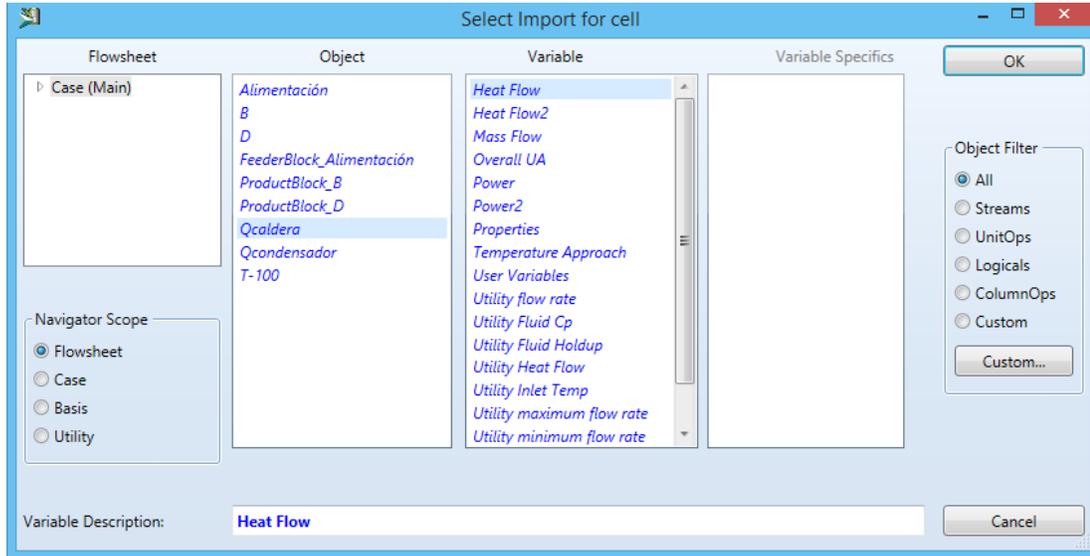
Fuente: elaboración propia, empleando Aspen HYSYS.

Figura 56. 'Import variable'



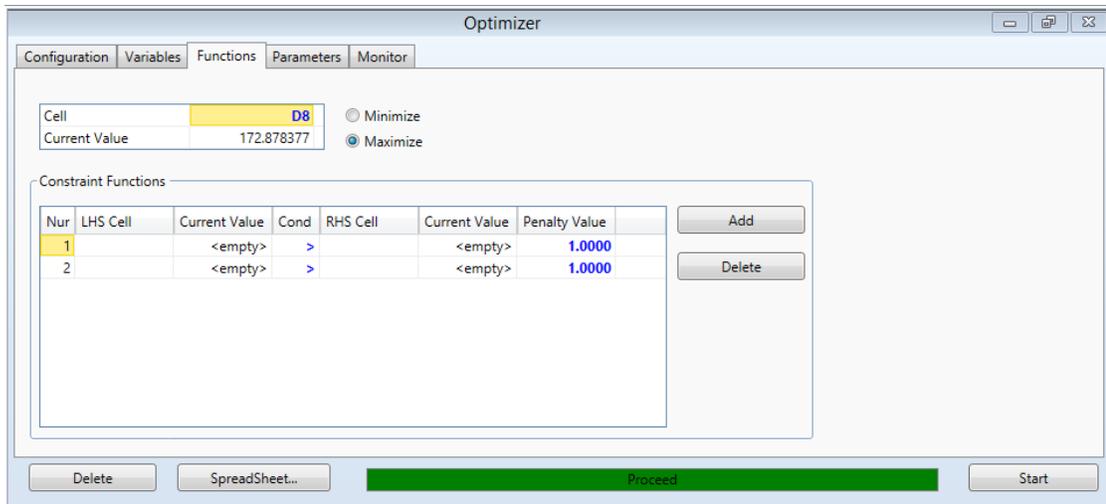
Fuente: elaboración propia, empleando Aspen HYSYS.

Figura 57. 'Select import for cell'



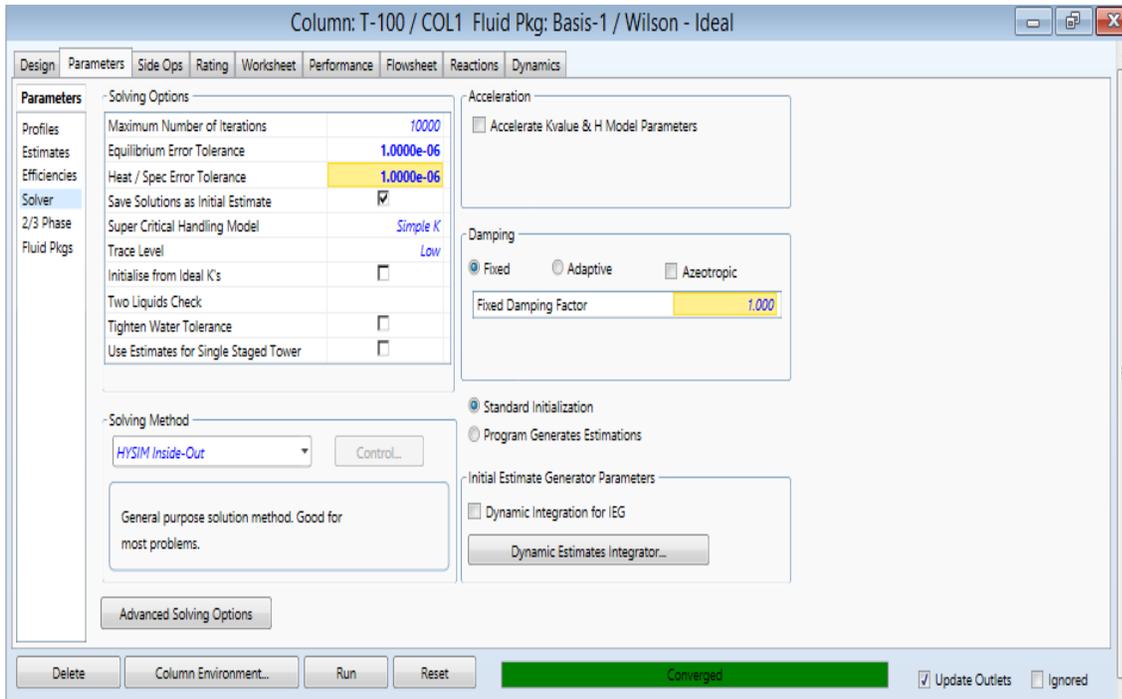
Fuente: elaboración propia, empleando Aspen HYSYS.

Figura 58. Maximizando



Fuente: elaboración propia, empleando Aspen HYSYS.

Figura 59. Error de tolerancia



Fuente: elaboración propia, empleando Aspen HYSYS.

Figura 60. **Reporte**

Material Streams				Material Streams			
Compositions				Compositions			
Energy Streams				Energy Streams			
Unit Ops				Unit Ops			
Name	Alimentación	D	B	Name	Alimentación	D	B
Vapour Fraction	0.0000	0.0000	0.0000	Comp Mole Frac (TetraHyFuran)	0.5010	0.9950	6.000e-002
Temperature [C]	10.00	66.59	108.1	Comp Mole Frac (Toluene)	0.4990	5.000e-003	0.9400
Pressure [kPa]	140.0	103.0	108.0				
Molar Flow [kgmole/h]	45.06	21.26	23.81				
Mass Flow [kg/h]	3700	1535	2165				
Liquid Volume Flow [m3/h]	4.213	1.727	2.486				
Heat Flow [kJ/h]	-4.696e+006	-4.392e+006	3.098e+005				

Material Streams			
Compositions			
Energy Streams			
Unit Ops			
Name	Qcondensador	Qcaldera	
Heat Flow [kJ/h]	1.330e+006	1.943e+006	

Connections				
Parameters				
Formulas				
Spreadsheet				
Calculation Order				
User Variables				
Notes				
Current Cell				
Exportable <input type="checkbox"/>				
A1	Variable:		Angles in:	Rad
Edit Rows/Columns				
	A	B	C	D
1	Qcondensador	1.330e+006 kJ/h	Costo Condensador	0.4710
2	QReboiler	1.943e+006 kJ/h	Costo Reboiler	0.7370
3	Producto THF	2165 kg/h		
4	Pureza THF	0.9950	Precio THF	0.3330
5	Producto Tolueno	1535 kg/h		
6	Pureza Tolueno	0.9400	Precio Tolueno	0.1360
7	Alimentación	3700 kg/h	Precio alimentación	5.000e-002
8			Ganancia	172.9
9				
10				

Fuente: elaboración propia, empleando Aspen HYSYS.

4.12. Perfil de competencias del catedrático

- Componente técnico (saber): el catedrático debe tener conocimiento sólido y experiencia suficiente sobre los temas a desarrollar en la asignatura.

- Tiene conocimiento y experiencia en la industria sobre el diseño de un proceso químico.
- Tiene conocimiento sobre simulación de procesos químicos.
- Tiene conocimiento sobre los temas de termodinámica y fisicoquímica; en la simulación de procesos químicos es fundamental la correcta selección del método de estimación de propiedades termodinámicas y fisicoquímicas de las sustancias que intervienen en el proceso.
- Tiene conocimiento y experiencia sobre el tema de evaluación económica de un proceso químico.
- Tiene experiencia en el manejo del software aspen HYSYS.
- Componente metodológico (saber hacer)
 - Diseña estrategias metodológicas atendiendo a la diversidad de los alumnos y la especificidad del contexto.
 - Selecciona y diseña medios y recursos didácticos de acuerdo a la estrategia.
 - Innova sobre su propia práctica docente, lo que implica reflexionar e investigar integrando el conocimiento disciplinar y el pedagógico como vía para la mejora continua.
 - Gestiona la interacción didáctica y las relaciones con los alumnos.

- Orienta de forma individual y grupal el proceso de construcción del conocimiento de los estudiantes proveyéndoles de pautas, información y recursos para favorecer la adquisición de las competencias profesionales.
- Crea un clima favorable para mantener una comunicación e interacción positiva con los alumnos.
- Verifica el logro de aprendizajes de los alumnos.
- Componente personal (saber ser)
 - Gestiona su propio desarrollo profesional como docente.
 - Imparte docencia tanto a grupos numerosos, como a pequeños grupos (seminarios) sin menoscabar la calidad de la enseñanza.
- Componente participativo (saber estar)
 - Participa en la programación de acciones, módulos y capacitaciones formativos.
 - Trabaja en equipo con otros profesionales en la concepción y elaboración de nuevos instrumentos, materiales y recursos didácticos para ampliar y/o mejorar las competencias del estudiante.

4.13. Descripción de las condiciones a establecer con la casa matriz para el licenciamiento de un laboratorio

La empresa AspenONE® ofrece a las universidades un paquete de software para ingeniería de procesos integrados, incluyendo el estado de equilibrio y la simulación de procesos dinámicos, diseño de equipo y evaluación económica.

Tabla XXI. Paquetes universitarios de AspenONE®

Tipo de paquete	Programas
Para la evaluación económica	<ul style="list-style-type: none"> • Aspen Process Economic Analyzer
Para el diseño y calificación de intercambiadores de calor	<ul style="list-style-type: none"> • Aspen Air Cooled Exchanger • Aspen Fired Heater • Aspen Plate Exchanger • Aspen Plate Fin Exchanger • Aspen Shell & Tube Exchanger • Aspen Shell & Tube Mechanical
Para el modelado de procesos	<ul style="list-style-type: none"> • AspenONE® Exchange • Aspen Adsorption • Aspen Batch Process Developer • Aspen Chromatography • Aspen Custom Modeler • Aspen Distillation Synthesis • Aspen Energy Analyzer • Aspen Flare System Analyzer • Aspen HYSYS® • Aspen HYSYS Amines™ • Aspen HYSYS Crude™ • Aspen HYSYS Dynamics™ • Aspen HYSYS Petroleum Refining • Aspen HYSYS® Thermodynamics COM Interface • Aspen HYSYS® Upstream Dynamics • Aspen HYSYS® CatCracker • Aspen HYSYS® Hydrocracker • Aspen HYSYS® Reformer • Aspen HYSYS® Dynamics Run-Time • Aspen HYSYS Upstream™ • Aspen HYSYS® EO Modeling Option • Aspen Model Runner® • Aspen Plus® • Aspen Plus Dynamics® • Aspen Plus Optimizer™ • Aspen Polymers • Aspen Process Manual™ • Aspen Process Tools™ • Aspen Properties® • Aspen Rate-Based Distillation • Aspen Simulation Workbook™ • Aspen Utilities Planner

Continuación de la tabla XXI.

De planificación y programación	<ul style="list-style-type: none">• Aspen PIMS Regional Optimizer• Aspen PIMS Advanced Optimization• Aspen PIMS Submodel Calculator• Aspen PIMS User
Para estimación e ingeniería integrada	<ul style="list-style-type: none">• Aspen Basic Engineering• Aspen In-Plant Cost Estimator• Aspen Capital Cost Estimator
Para el control avanzada de procesos	<ul style="list-style-type: none">• Aspen DMC3• Aspen Inferential Qualities• Aspen PID Watch Performance Monitor

Fuente: Aspen Plus. *Technology that loves complexity.*

<http://www.aspentech.com/corporate/university/products.aspx>. Consulta: 11 de octubre de 2017.

Las solicitudes del licenciamiento del software para uso educativo deben ser realizadas únicamente por profesores universitarios, los cuales deberán llenar el siguiente formulario disponible en la página: https://esupport.aspentech.com/S_UniversityOrderRequest.

CONCLUSIONES

1. Con base en el análisis estadístico respecto al carácter que cada universidad le asigna a la asignatura de simulación de procesos, se observó que el 86 % de las universidades considera la asignatura de carácter obligatorio debido que a través del contenido que se desarrolla durante el curso de la asignatura es posible integrar todos los conceptos fundamentales de la carrera de Ingeniería Química. También, se observó que las universidades seleccionadas consideran que el curso debe ser impartido en el último módulo de la carrera.
2. El estudiante al finalizar el curso de simulación de procesos alcanzará competencias entre las cuales la que más destaca es la habilidad para el uso y desarrollo de aplicaciones informáticas en el área de Ingeniería Química, en este caso es el uso del software Aspen HYSYS.
3. El objetivo del curso es que el estudiante de ingeniería química integre y aplique los conocimientos básicos que ha adquirido durante su formación académica en la simulación de un proceso químico-industrial a través del manejo de simuladores comerciales.
4. El contenido que se propone para la asignatura se puede dividir en tres fases: reforzamiento de conceptos fundamentales, introducción a la simulación en el software Aspen HYSYS y evaluación completa de un proceso químico utilizando el software Aspen HYSYS.

5. La asignatura que se propone es de carácter práctico, por lo que el método de enseñanza se enfoca en formar al estudiante en la simulación de procesos químicos industriales utilizando el software Aspen HYSYS como herramienta para integrar y aplicar todos los conocimientos adquiridos durante la formación académica de la carrera.
6. Para verificar el aprendizaje y con ello completar la zona de 75 puntos de zona del curso se propone realizar pruebas escritas (40 %), problemas y tareas (20 %), proyecto final elaborado en el software Aspen HYSYS (15 %).
7. Se propone como bibliografía básica y complementaria los 10 libros más utilizados por las universidades analizadas en este trabajo de graduación (tabla VIII).
8. Basado el análisis del software utilizado para las prácticas de la asignatura de simulación de procesos se observó que los softwares más utilizados son Aspen Plus y Aspen HYSYS y su uso se complementa con los software Aspen IPE Y Aspen Custom Modeller.
9. El profesor que imparta el curso debe cumplir con un perfil de competencias conformado por 4 componentes: componente técnico, componente metodológico, componente personal y componente participativo.
10. Las solicitudes del licenciamiento del software para uso educativo deben ser realizadas únicamente por profesores universitarios, los cuales deberán llenar el siguiente formulario disponible en la página: https://esupport.aspentech.com/S_UniversityOrderRequest

RECOMENDACIONES

1. El título que se recomienda para la asignatura es: diseño, simulación y optimización de procesos químicos en Aspen HYSYS.
2. Se recomienda considerar la asignatura de carácter obligatorio y ubicarla en el último año de la carrera.
3. Se recomienda profundizar sobre los softwares Aspen IPE y Aspen Custom Modeller para que sirvan de soporte en el curso propuesto.

BIBLIOGRAFÍA

1. ÁLVAREZ ÁLVAREZ, Carmen. *La etnografía como modelo de investigación en educación*. España: Universidad de Oviedo, 2008. 182 p.
2. *Canal aprende ingeniería química: curso de Aspen HYSYS nivel básico*. [En línea]. <<https://www.youtube.com/channel/UCK64rhGGe49fAZnoG6nTS0w>>. [Consulta: 12 de febrero de 2017].
3. *Destilación y optimización en HYSYS V3.2*. [En línea]. <<https://www.youtube.com/watch?v=V7e7CG9vunE>>. [Consulta: 20 de mayo de 2017].
4. ECHEVERRÍA, Benito. *Revista de investigación educativa: gestión de la competencia de acción profesional*. [En línea]. <<https://www.dropbox.com/s/mha7z124qgxp4r/Competencias.pdf?dl=0>>. [Consulta: 12 de mayo de 2017].
5. FRANCO FERNÁNDEZ, José Alberto. *Diseño de un simulador por computadora de procesos de evaporación*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2014. 231 p.
6. MORALES, Pedro. *Ser profesor una mirada al alumno*. [en línea]. <https://issuu.com/kokyss3177/docs/pedro_morales_ser_profesor_una_mira>. [Consulta: 26 de febrero de 2018].

7. *Orientación Académica para futuros universitarios*. [En línea]. <http://www.upct.es/seeu/_coie/documentacion/I.ORIENT.ACA.FUT.UNIV.-4.Las_competencias.pdf>. [Consulta: 17 de junio de 2016].
8. PEDRO REYES, Geovana Ruveli. *Análisis comparativo utilizando criterios de actividad, flexibilidad y exclusión en mallas curriculares de carreras de Ingeniería Química de universidades latinoamericanas seleccionadas, con respecto a ejes de formación macro, meso y micro*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2014. 231 p.
9. *Ranking web de universidades*. [En línea]. <<http://www.webometrics.info/es>>. [Consulta: 2 de septiembre de 2016].
10. VASQUEZ, Alejandro. *Competencias Cognitivas en la educación superior*. [En línea]. <[file:///C:/Users/Esther/Downloads/50-202-1-PB%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Esther/Downloads/50-202-1-PB%20(1).pdf)>. [Consulta: 17 de junio de 2016].

APÉNDICES

Apéndice 1. Descripción general de la asignatura con contenido de simulación de procesos

Ui	Nombre de la asignatura	Módulo	Carácter	Créditos
U1	Simulación de plantas químicas	10mo de 12 cuatrimestres	Obligatorio	6
U2	Simulación de procesos I y II	5to y 6to de 10 semestres	Obligatorio	-
U3	Simulación	9no de 10 cuatrimestres	Optativo	-
U4	Simulación y optimización de procesos	9no de 12 semestres	Obligatorio	4
U5	Simulación y operación de proceso	9no de 10 semestres	Obligatorio	-
U6	Modelado y simulación	8vo de 10 periodos	Obligatorio	2
U7	Simulación y optimización de procesos	9no de 10 periodos	Obligatorio	4
U8	Simulación y control de procesos	7mo de 10 semestres	Obligatorio	6
U9	Modelación y simulación de procesos químicos	10mo de 12 semestres	Obligatorio	-
U10	Simulación de procesos	9no de 12 semestres	Obligatorio	3
U11	Modelación y simulación de procesos	9no de 12 semestres	Obligatorio	4
U12	Modelamiento y simulación de procesos químicos y bioquímicos	8vo de 10 semestres	Optativo	3
U13	Introducción al modelamiento y simulación	6to de 8 semestres	Obligatorio	3
U14	Herr. Comp. Para simulación de procesos	9no de 10 semestres	Optativo	4
U15	Simulación de procesos químicos	9no de 10 semestres	Obligatorio	3
U16	Simulación de procesos	8vo de 10 semestres	Optativo	3
U17	Simulación de procesos	9no de 10 semestres	Obligatorio	6
U18	Simulación de procesos químicos	9no de 10 semestres	Obligatorio	3

Continuación del apéndice 1.

U19	Simulación dinámica de procesos	10mo de 10 semestres	Obligatorio	4
U20	Simulación y control de procesos	12vo de 12 semestres	Obligatorio	9
U21	Simulación de procesos	9no de 10 semestres	Obligatorio	3
U22	Simulación aplicada	8vo de 9 semestres	Obligatorio	7,49
U23	Simulación de procesos	11mo de 12 semestres	Obligatorio	-
U24	Simulación y control de procesos	6to de 8 semestres	Obligatorio	6
U25	Simulación de procesos químicos	6to de 8 semestres	Obligatorio	3
U26	Simulación y control de procesos	7mo de 8 semestres	Obligatorio	6
U27	Análisis y simulación de procesos	6to de 10 semestres	Obligatorio	4,5
U28	Simulación y optimización de procesos	8vo de 8 semestres	Optativo	2
U29	Simulación y optimización de procesos	7mo de 8 semestres	Obligatorio	4,5
U30	Simulación y optimización	7mo de 8 semestres	Obligatorio	4,5
U31	Simulación, optimización y diseño de procesos químicos	7mo de 8 semestres	Obligatorio	6
U32	Simulación y optimización de procesos químicos	7mo de 8 semestres	Obligatorio	6
U33	Simulación y optimización de procesos químicos	7mo de 8 semestres	Obligatorio	6
U34	Simulación avanzada de procesos químicos	7mo de 8 semestres	Optativo	6
U35	Simulación y optimización de procesos	7mo de 8 semestres	Obligatorio	-
U36	Simulación y optimización de procesos	6to de 8 semestres	Obligatorio	6
U37	Control y simulación de procesos químicos	6to de 8 semestres	Obligatorio	6
U38	Simulación y análisis de procesos químicos	6to de 8 semestres	Obligatorio	9
U39	Simulación y optimización de procesos	6to de 8 semestres	Obligatorio	4,5
U40	Simulación y optimización de procesos químicos	8vo de 8 semestre	Obligatorio	6
U41	Simulación y optimización de procesos químicos	7mo de 8 semestre	Obligatorio	6

Continuación del apéndice 1.

U42	Simulación y optimización de procesos químicos	7mo de 8 semestre	Obligatorio	6
U43	Simulación de procesos químicos	7mo de 8 semestre	Obligatorio	6
U44	Simulación de procesos	7mo de 8 semestres	Obligatorio	4

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. **Objetivo general de la asignatura con contenido de simulación de procesos de las diferentes universidades**

Ui	Objetivo general
U12	El objetivo del curso es desarrollar una mejor aproximación conceptual de la operación y el diseño de procesos químicos industriales al proponer y evaluar nuevas alternativas tecnológicas mediante el planteamiento de modelos matemáticos, el desarrollo de simuladores y el uso de herramientas comerciales de simulación de procesos.
U27	Esta asignatura se centra en el modelado del comportamiento dinámico o estacionario de diferentes unidades y procesos de Ingeniería Química. Para ello se utilizan ecuaciones ya vistas en otras asignaturas de cursos anteriores como son los balances de materia, energía y cantidad de movimiento, ecuaciones cinéticas y transferencia. Inicialmente, se obtendrá el comportamiento dinámico de sistemas de parámetros globalizados para pasar posteriormente a los sistemas de Ingeniería Química que pueden ser descritos mediante modelos de parámetros distribuidos. Seguidamente, se definirán las funciones objetivo del algún proceso químico característico, sobre las cuales se aplicarán diversos métodos de optimización. A continuación, se realizará un análisis de estabilidad de diferentes tipos de procesos químicos. Finalmente, se verá la aplicación de simuladores de procesos, así como conceptos básicos de síntesis de procesos.
U29	El objetivo de la asignatura es que el alumno aprenda el uso de herramientas computacionales (programas de cálculo numérico y simuladores de proceso) para modelar y simular procesos sencillos, con el fin de: resolver el balance de materia y energía, diseñar y dimensionar equipos, determinar los costes de inversión y operación, analizar la rentabilidad del proceso y optimizar el diseño del mismo para maximizar la rentabilidad.
U30	La materia Simulación y optimización pretende formar al alumno en la optimización matemática de sistemas relacionados con procesos químicos mediante el aprendizaje y aplicación de diferentes métodos y herramientas. Asimismo, se plantea la necesidad del empleo de modelos de naturaleza matemática para el estudio de estructuras y estrategias de descomposición de sistemas para el análisis, simulación y optimización de procesos químicos. Esta materia tiene también una serie de objetivos complementarios, como el empleo de programas informáticos, simuladores y hojas de cálculo. La materia está enfocada en el empleo práctico de los conceptos y métodos que sirven, no solo para esta materia, sino también para su aplicación en otras disciplinas del grado y a nivel profesional.
U31	Se pretende que el alumno adquiera los conocimientos y habilidades necesarias para el diseño de una planta de procesos. Esto implica que el alumno sea capaz de integrar el diseño y la simulación del proceso con las técnicas de optimización para conseguir el mejor diagrama de flujo de una planta de proceso.

Continuación del apéndice 2.

U32	<p>La asignatura pretende introducir al alumno en el campo del diseño de procesos químicos, en especial, en las técnicas de modelado y simulación, así como en la aplicación de métodos de optimización paramétrica que permitan elegir las mejores condiciones de aplicación de un proceso químico. Asimismo, se darán al alumno unos conocimientos básicos del llamado diseño flexible (incertidumbre) y del diseño de experimentos. Al finalizar, el alumno ha de ser capaz de generar sus propios modelos y resolverlos desde el punto de vista matemático, conociendo los diferentes algoritmos aplicables a su resolución. Por último, se mostrará la aplicación práctica de algunos simuladores comerciales de procesos y se iniciará en su utilización en algunos casos prácticos.</p>
U34	<p>Esta asignatura permite completar la formación dentro del grado en Ingeniería Química en simulación de proceso iniciada en cursos anteriores. Indudablemente, el conocimiento de la simulación de procesos podrá ser usado con profusión por los futuros egresados para el estudio del comportamiento estacionario y dinámico de procesos químicos industriales.</p> <p>El objeto último de esta asignatura es que los alumnos puedan dominar con soltura los dos principales simuladores de procesos en estado estacionario: HYSYS (UNISIM) y Aspen Plus, aparte de conocer los elementos básicos de la simulación con la aplicación PROMAX, que en los años futuros se antoja de gran utilidad al haber sido construida dentro de entorno VISIO, bien conocido por los estudiantes de ingeniería química de esta Universidad. Finalmente, se introduce al alumno en la simulación dinámica de procesos con la herramienta HYSYS. Esta formación será de mucha ayuda para la asignatura Dinámica de procesos, control de plantas industriales, que se imparte en el Master.</p> <p>Con este fin la asignatura se organiza a través del método del caso con objeto de que los alumnos vayan descubriendo las peculiaridades de los diferentes módulos usados en la simulación de procesos químicos complejos y de plantas reales.</p>
U36	<p>El objetivo principal de la asignatura es que el alumno conozca y maneje técnicas y herramientas de análisis, síntesis y optimización de procesos químicos y que el alumno desarrolle buenos hábitos en el modelado y posterior resolución de los problemas.</p> <p>El programa incluye temas de síntesis, análisis, y optimización de procesos químicos donde además de conceptos teóricos se enseña al alumno cómo afrontar dichos problemas mediante simuladores comerciales de procesos, especialmente Aspen Plus y Aspen Custom Modeller y el programa de optimización GAMS.</p> <p>Desarrollar la capacidad para reconocer y resolver situaciones en las que se requiera el uso de herramientas de optimización, así como la capacidad para la formalización matemática de estas situaciones.</p>
U39	<p>La asignatura Simulación y optimización de procesos químicos está enmarcada dentro del módulo de Ingeniería Química en el título de grado en Ingeniería Química y desarrolla conceptos básicos necesarios para la formación de dichos graduados, tanto para el estudio de asignaturas posteriores, como para el ejercicio de la profesión de los titulados.</p> <p>Las aplicaciones técnicas implícitas en los contenidos de esta asignatura abarcan la optimización y simulación de un amplio número de procesos e instalaciones industriales, entre los que se pueden enumerar: centrales eléctricas, industrias petrolíferas y de procesos químicos en general, por lo que resulta necesaria para la obtención de graduados con una sólida formación en estos aspectos dentro de la Ingeniería Química.</p>
U41	<p>El objetivo principal de esta asignatura es la descripción y manejo de la simulación de procesos químicos, herramienta fundamental para la Ingeniería Química. Para ello, el curso se centra fundamentalmente en la enseñanza interactiva de un paquete de software comercial de fuerte implantación en la industria química, como es AspenPlus. En primer lugar, se estudiarán los modelos correspondientes a las operaciones unitarias y los principales tipos de reactores químicos para, posteriormente, integrar todos estos modelos individuales en diagramas de flujo progresivamente más complejos. Finalmente, se describirán los pasos para llevar a cabo una optimización de procesos y se introducirán los conceptos básicos de la simulación de procesos en régimen dinámico.</p>

Continuación del apéndice 2.

U43	<p>El objetivo final de este curso es que el alumno adquiera los conocimientos básicos relacionados con la optimización y simulación dinámica de procesos químicos. En el desarrollo curricular el alumno ha cursado una asignatura sobre métodos numéricos (considerada Imprescindible para una completa comprensión de los conceptos abordados en este curso). Los aspectos de diseño integrado en cuanto a la eficiencia energética y generación de residuos son la pauta actual de funcionamiento de las plantas nuevas. De forma que la ayuda de programas comerciales que proveen una simulación rigurosa del problema es cada vez más demandada en cuanto a eficiencia en el trabajo y rigurosidad en los resultados. La exposición a este tipo de software es imprescindible para asegurar en nivel de competencia mínimo para los egresados con un perfil curricular centrado en el diseño.</p> <p>Por otra parte, esta asignatura hace uso de prácticamente todos los aspectos curriculares específicos de la ingeniería química, presentando una visión de conjunto de las operaciones básicas e ingeniería de la reacción química, así como reactores, cinética y termodinámica, todo ello aplicado a un proceso químico concreto.</p>
U44	<p>El uso de herramientas de simulación de procesos desde hojas electrónicas de cálculo hasta paquetes de programas específicos es algo que forma parte del día a día del Ingeniero en cualquier tarea relacionada con la síntesis, diseño, mejora e, incluso, operación de procesos industriales. Hay que remarcar que no es objetivo propio de esta asignatura el ser una etapa más en la capacitación en Análisis Numérico del futuro Ingeniero, como tampoco lo es el ser una ampliación de algorítmica o programación de ordenadores. En ella, el uso de ordenadores se concibe como algo natural, imprescindible actualmente en tareas de cálculo y los paquetes de programas que se usan, como un mero ejemplo de lo mucho que hoy en día se encuentra en el mercado.</p> <p>Esta asignatura se desarrolla fundamentalmente sobre ejemplos prácticos y, en la medida de lo posible, casos reales.</p>

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. **Objetivos específicos de la asignatura con contenido de simulación de procesos de las diferentes universidades**

Ui	Objetivos específicos
U12	<ul style="list-style-type: none"> • Programar en Excel algoritmos de flash, destilación y balances de energía apoyados en macros de Visual Basic. • Simular procesos químicos o biotecnológicos en cualquier software y evaluarlos económica, tecnológica y ambientalmente. • Analizar los resultados de una simulación dinámica de procesos.
U25	<ul style="list-style-type: none"> • Reforzar las bases que gobiernan los principales procesos de la Ingeniería Química: balances de materia y energía en estado estacionario y dinámico. • Aprender herramientas de simulación de procesos, especialmente Matlab y HYSYS. • Adquirir los conocimientos de simulación necesarios para plantear y resolver casos paradigmáticos de la Ingeniería Química, especialmente aquellos que necesitan herramientas matemáticas avanzadas para su resolución. • Aplicar las herramientas de simulación para predecir el comportamiento de procesos. • Adquirir los conocimientos necesarios para llevar a cabo análisis de sensibilidad de parámetros mediante simulación matemática. • Ajuste de parámetros.

Continuación del apéndice 3.

U29	<ul style="list-style-type: none"> • Resolver balances de materia y energía. • Diseñar y dimensionar equipos. • Determinar los costes de inversión y operación para analizar la rentabilidad del proceso y optimizar el diseño del mismo.
U30	<ul style="list-style-type: none"> • Plantear y crear de modelos que representan procesos industriales reales. • Introducir a la identificación de estructuras sistemas. Estrategias de simulación. • Formular un modelo matemático ante un problema de optimización, que involucra una función objetivo con una o más variables de diseño, diferentes restricciones (de igualdad y desigualdad) y resolución mediante un algoritmo adecuado (toma de decisiones). El modelo ha de ser consistente matemáticamente y resoluble con los medios empleados. • Adquirir fundamentos de algoritmos de optimización y aplicación práctica en operaciones y procesos industriales. • <u>Simular y optimizar mediante un simulador de procesos químicos en estado estacionario (HYSYS).</u>
U31	<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollar capacidad para simular un diagrama de flujo en régimen estacionario de un proceso. • Conocer los métodos más importantes de simulación de procesos. • Utilizar de forma eficiente el simulador de procesos de referencia en la industria de procesos, Aspen HYSYS. • Aprender a Diseñar una red de intercambiadores de calor utilizando MATLAB mediante la aplicación de los principios del diseño conceptual de procesos químicos. • Proporcionar a los estudiantes las herramientas básicas para la optimización de sistemas complejos dentro de la ingeniería de procesos. Resolver problemas que implican de decisiones discretas mediante el programa GAMS, que es un sistema de modelado algebraico. • Conocer los fundamentos básicos del diseño de procesos. La descomposición jerárquica y los fundamentos del diseño basado en superestructuras.
U32	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicar los conocimientos en la práctica. • Adquirir conocimientos básicos sobre el uso y programación de los ordenadores, sistemas operativos, bases de datos y programas informáticos con aplicación en ingeniería. • Simular procesos y operaciones industriales. • Integrar diferentes operaciones y procesos, alcanzando mejoras globales. • <u>Diseñar procesos en plantas química y afines.</u>
U34	<ul style="list-style-type: none"> • Manejar simuladores (HYSYS) que faciliten la comprensión de los ensayos de caracterización, así como el funcionamiento de los principales procesos y unidades de refino físico, conversión, etc. • Conocer la integración de procesos y operaciones. • Tener capacidad para diseñar los equipos de separación sólido-líquido y líquido-líquido más empleados en la industria alimentaria y farmacéutica. • Ser capaz de mejorar sus capacidades de simulación con las herramientas HYSYS y PROMAX. • Ser capaz de emplear el simulador ASPEN en la simulación de operaciones básicas de fluidos, calor y transferencia de materia y en el cálculo de reactores.

Continuación del apéndice 3.

	<ul style="list-style-type: none"> • Ser capaz de simular procesos químicos conocidos con los 3 simuladores listados anteriormente y comparación de resultados. • Ser capaz de manejar los conceptos básicos del diseño conceptual, de la optimización y de los cálculos de conservación de energía y eficacia termodinámica de procesos químicos. • Ser capaz de manejar conceptos de simulación dinámica y control de procesos químicos y sintonización de controladores.
U36	<ul style="list-style-type: none"> • Modelar y analizar procesos químicos en estado estacionario y/o dinámico. • Capacidad para distinguir y aplicar adecuadamente distintos tipos de modelos matemáticos utilizados para describir en los procesos químicos. • Resolver problemas de simulación y plantear posibles soluciones con las herramientas de simulación disponibles. • Seleccionar técnicas adecuadas para resolver problemas de optimización. • Capacidad de utilizar las herramientas de simulación y optimización para el diseño de procesos. • Destreza para utilizar aplicaciones informáticas para el diseño, simulación y optimización de operaciones procesos en estado estacionario y en estado dinámico.
U39	<ul style="list-style-type: none"> • Que el alumno conozca los métodos básicos de simulación de procesos químicos. • Que el alumno conozca los elementos necesarios para plantear un balance de materia, energía y económico en un proceso químico. • Que el alumno sepa optimizar un proceso químico determinado empleando distintos métodos numéricos de optimización. • Introducir al alumno en el manejo de ASPEN como simulador comercial en la simulación de operaciones básicas de fluidos, calor y transferencia de materia y en el cálculo de reactores.
U40	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad para utilizar diseño conceptual en el desarrollo/ modificación de procesos en la industria química. • Capacidad de realizar simulaciones utilizando simuladores comerciales (UNISIM) para diseñar plantas químicas, nivel básico. • Capacidad para comprender las relaciones entre las variables fundamentales de una planta química, como control de inventario, energía, calidad, y seguridad. Esto les permitirá colocar la instrumentación en los diagramas de instrumentación y tubería para completar la Ingeniería básica de las plantas químicas.
U43	<ul style="list-style-type: none"> • Modelar y analizar procesos químicos en estado estacionario y dinámico. • Capacidad para distinguir y aplicar adecuadamente distintos tipos de modelos para describir procesos químicos. • Resolver problemas de simulación y plantear soluciones alternativas Destreza para utilizar aplicaciones informáticas para el diseño simulación y optimización de operaciones en el marco de la ingeniería química

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. **Competencias transversales/genéricas de la asignatura con contenido de simulación de procesos de las diferentes universidades seleccionadas**

Ui	Competencias transversales
U25	<ul style="list-style-type: none"> • Hábitos de trabajo individual • Trabajo en equipo
U27	<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollo de la creatividad • Toma de decisiones y razonamiento crítico
U29	<ul style="list-style-type: none"> • Conocimiento en materias básicas y tecnológicas, que les capacite para el aprendizaje de nuevos métodos y teorías, y les dote de versatilidad para adaptarse a nuevas situaciones. • Capacidad para reconocer cuándo se necesita información, dónde localizarla, cómo evaluar su idoneidad y darle uso adecuado de acuerdo con el problema que se plantea. • Capacidad para comunicar y transmitir conocimientos, haciendo un uso adecuado de los recursos de expresión oral y escrita. • Fomentar un espíritu emprendedor.
U30	<ul style="list-style-type: none"> • Conocimiento en materias básicas y tecnológicas, que les capacite para el aprendizaje de nuevos métodos y teorías, y les dote de versatilidad para adaptarse a nuevas situaciones. • Capacidad de análisis y síntesis. • Habilidades para el uso y desarrollo de aplicaciones informáticas. • Resolución de problemas. • Trabajo en equipo. • Capacidad de aplicar los conocimientos en la práctica.
U31	<ul style="list-style-type: none"> • Competencias sistemáticas <ul style="list-style-type: none"> ○ Capacidad de aplicar los conocimientos en la práctica. ○ Capacidad de aprendizaje autónomo. ○ Capacidad de adaptación a nuevas situaciones. ○ Habilidad para trabajar de forma autónoma. ○ Creatividad en todos los ámbitos de la profesión. ○ Capacidad para tomar decisiones y ejercer funciones de liderazgo. ○ Tener iniciativa y espíritu emprendedor. ○ Motivación por la calidad. ○ Sensibilidad hacia temas medioambientales. • Interpersonales <ul style="list-style-type: none"> ○ Planificar, ordenar y supervisar el trabajo en equipo. ○ Trabajar en equipos multidisciplinares. ○ Habilidad en las relaciones interpersonales. ○ Capacidad para comunicarse con expertos de otras áreas. ○ Razonamiento crítico. ○ Aplicar en cada situación los requerimientos y responsabilidades éticas y el código deontológico de la profesión.

Continuación del apéndice 4.

U32	<ul style="list-style-type: none"> • Que los estudiantes sepan aplicar sus conocimientos a su trabajo o vocación de una forma profesional y posean las competencias que suelen demostrarse por medio de la Elaboración y defensa de argumentos y la resolución de problemas dentro de su área de estudio. • Que los estudiantes tengan la capacidad de reunir e interpretar datos relevantes (normalmente dentro de su área de estudio) para emitir juicios que incluyan una reflexión sobre temas relevantes de índole social, científica o ética. • Que los estudiantes puedan transmitir información, ideas problemas y soluciones a un público tanto especializado como no especializado. • Que los estudiantes hayan desarrollado aquellas habilidades de aprendizaje necesarias para emprender estudios posteriores con un alto grado de autonomía.
U34	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de manejo de simuladores de procesos en ingeniería química. • Capacidad para la redacción, firma y desarrollo de proyectos en el ámbito de la ingeniería química que tengan por objeto, de acuerdo con los conocimientos adquiridos. • Construcción, reforma, reparación, conservación, demolición, fabricación, instalación, montaje o explotación de: estructuras, equipos mecánicos, instalaciones energéticas, instalaciones eléctricas y electrónicas, instalaciones y plantas industriales y procesos de fabricación y automatización. • Capacidad para la dirección, de las actividades objeto de los proyectos de ingeniería descritos en la competencia 4. • Conocimientos en materias básicas y tecnológicas, que les capacite para el aprendizaje de nuevos método y teorías, y les dote de versatilidad para adaptarse a nuevas situaciones. • Capacidad de trabajar en un entorno multilingüe y multidisciplinar. • Dominio de una segunda lengua extranjera en el nivel B1 del marco común europeo de referencia para las lenguas. • Conocimiento de las tecnologías de la información y la comunicación. • Una correcta comunicación oral y escrita. • Capacidad de gestión organización y planificación de la información. • Capacidad de razonamiento crítico y toma de decisiones. • Capacidad de síntesis. • Capacidad de trabajo en equipo. • Capacidad de análisis y resolución de problemas. • Capacidad de aprendizaje y trabajo de forma autónoma. • Capacidad de aplicar conocimientos teóricos a la práctica. • Creatividad e iniciativa. • Capacidad de liderazgo.
U36	<ul style="list-style-type: none"> • Competencias genéricas <ul style="list-style-type: none"> ○ Conocimiento en materias básicas y tecnológicas, que les capacite para el aprendizaje de nuevos métodos y les dote de versatilidad para adaptarse a nuevas situaciones.

Continuación del apéndice 4.

	<ul style="list-style-type: none"> • Competencias transversales <ul style="list-style-type: none"> ○ Capacidad de análisis y síntesis ○ Conocimiento de informática en el ámbito de estudio ○ Capacidad de organizar y planificar ○ Capacidad de aplicar los conocimientos en la práctica
U39	<ul style="list-style-type: none"> • Competencias profesionales generales del título (T) <ul style="list-style-type: none"> ○ T1. Conocimiento en materias básicas y tecnológicas, que les capacite para el aprendizaje de nuevos métodos y teorías, y les dote de versatilidad para adaptarse a nuevas situaciones. ○ T2. Capacidad de resolver problemas con iniciativa, toma de decisiones, creatividad, razonamiento crítico y de comunicar y transmitir conocimientos, habilidades y destrezas en el campo de la Ingeniería Química. ○ T8. Aptitud para dirigir y trabajar en equipos multidisciplinares y en entornos multilingües. ○ T10. Capacidad para analizar problemas complejos en una dirección predeterminada. ○ T12. Tener conocimientos y realizar aplicaciones prácticas de ingeniería de productos. • Competencias genéricas o transversales: <ul style="list-style-type: none"> ○ G2. Sostenibilidad y compromiso social: conocer y comprender la complejidad de los fenómenos económicos y sociales típicos de la sociedad del bienestar; capacidad para relacionar el bienestar con la globalización y la sostenibilidad; habilidad para utilizar de forma equilibrada y compatible la técnica, la tecnología, la economía y la sostenibilidad. ○ G3. Comunicación eficaz oral y escrita: comunicarse de forma oral y escrita con otras personas sobre los resultados del aprendizaje, de la Elaboración del pensamiento y de la toma de decisiones; participar en debates sobre temas de la propia especialidad. ○ G4. Trabajo en equipo: ser capaz de trabajar como miembro de un equipo interdisciplinar ya sea como un miembro más, o realizando tareas de dirección con la finalidad de contribuir a desarrollar proyectos con pragmatismo y sentido de la responsabilidad, asumiendo compromisos teniendo en cuenta los recursos disponibles. ○ G5. Uso solvente de los recursos de información: gestionar la adquisición, la estructuración, el análisis y la visualización de datos e información en el ámbito de la especialidad y valorar de forma crítica los resultados de esta gestión.
U40	<ul style="list-style-type: none"> • Conocimiento en materias básicas y tecnológicas, que les capacite para el aprendizaje de nuevos métodos y teorías, y les dote de versatilidad para adaptarse a nuevas situaciones. • Capacidad de resolver problemas con iniciativa, toma de decisiones, creatividad, razonamiento crítico y de comunicar y transmitir conocimientos, habilidades y destrezas en el campo de la Ingeniería Química Industrial. • Capacidad de trabajar en un entorno multilingüe y multidisciplinar. • Capacidad de análisis y síntesis. • Capacidad de expresión oral. • Capacidad de expresión escrita. • Capacidad de resolución de problemas. • Capacidad para aplicar los conocimientos a la práctica.

Continuación del apéndice 4.

	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad para trabajar en equipo de forma eficaz. • Capacidad para diseñar y desarrollar proyectos. • Capacidad para la creatividad y la innovación.
U41	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad para trabajar y aprender de forma autónoma, adaptarse a nuevas situaciones y reconocimiento de la necesidad de un aprendizaje continuo a lo largo de la actividad profesional. • Capacidad de identificación, formulación y resolución de problemas ingenieriles con iniciativa, toma de decisiones, creatividad y razonamiento crítico. • Capacidad para aplicar los conocimientos y destrezas adquiridas en el desarrollo de la práctica ingenieril, incluyendo la realización de mediciones, cálculos, valoraciones, tasaciones, peritaciones, estudios, informes y otros trabajos análogos.
U43	<ul style="list-style-type: none"> • Competencias genéricas <ul style="list-style-type: none"> ○ Conocimientos básicos de la profesión ○ Trabajo en equipo ○ Comprender y poseer conocimientos ○ Capacidad de emitir juicios

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. **Competencias básicas de la asignatura con contenido de simulación de procesos de las diferentes universidades seleccionadas**

Ui	Competencias básicas
U4	<ul style="list-style-type: none"> • Demostrar que se conoce, a nivel básico, el uso y programación de los ordenadores, y saber aplicar los recursos informáticos aplicables en Ingeniería Química.
U30	<ul style="list-style-type: none"> • CQ.2.1. Capacidad para el análisis y diseño de procesos y productos. • CQ.4.2 Control e instrumentación de procesos químicos.
U31	<ul style="list-style-type: none"> • Conocimientos básicos de los sistemas de producción y fabricación. • Conocimientos sobre balances de materia y energía, biotecnología, transferencia de materia, operaciones de separación, ingeniería de la reacción química, diseño de reactores y valorización y transformación de materias primas y recursos energéticos.
U43	<ul style="list-style-type: none"> • Conocimientos sobre balances de materia y energía, biotecnología, transferencia de materia, operaciones de separación, ingeniería de la reacción química, diseño de reactores y valorización y transformación de materias primas y recursos energéticos.

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 6. **Competencias específicas de la asignatura con contenido de simulación de procesos de las diferentes universidades seleccionadas**

Ui	Competencias específicas
U29	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad para el análisis, diseño, simulación y optimización de procesos y productos. • Capacidad para diseñar, gestionar y operar procedimientos de simulación, control e instrumentación de procesos químicos. • Conocer y saber utilizar los simuladores de procesos, para modelar y diseñar operaciones de separación y sistemas de reacción y optimizar procesos químicos.
U30	<ul style="list-style-type: none"> • CQ.2.2. Capacidad para la simulación y optimización de procesos y productos. • CQ.4.1 Capacidad para diseñar, gestionar y operar procedimientos de simulación de procesos químicos.
U31	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad para el análisis, diseño, simulación y optimización de procesos y productos. • Capacidad para diseñar, gestionar y operar procedimientos de simulación, control e instrumentación de procesos químicos. • Capacidad para modelar de forma adecuada un problema de optimización y síntesis de proceso y utilizar las herramientas adecuadas para resolverlo.
U36	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad para el análisis, diseño, simulación y optimización de procesos y productos. • Capacidad para diseñar, gestionar y operar procedimientos de simulación, control e instrumentación de procesos químicos.
U39	MIQ7. Capacidad para la modelización y el diseño en la ingeniería química. Simulación de procesos en estado estacionario. Optimización de los procesos y productos en una transformación química.
U41	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad para el análisis, diseño, simulación y optimización de procesos y productos. • Capacidad para diseñar, gestionar y operar procedimientos de simulación, control e instrumentación de procesos químicos.
U43	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad para diseñar, gestionar y operar procedimientos de simulación control e instrumentación de procesos químicos. • Capacidad para análisis diseño simulación y optimización de procesos y productos.

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 7. Contenido

Ui	Contenidos
U12	<p>El contenido de la asignatura cubre varios de los talleres propuestos en el libro guía de la materia.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Capítulo 1: separaciones líquido-vapor, en MS EXCEL TM <ul style="list-style-type: none"> ○ Taller 1: flash isotérmico ○ Taller 2: destilación, algoritmo shortcut de fenske ○ Taller 3: absorción, algoritmo de kremser ○ Taller 5: balances de energía en procesos • Capítulo 2: programación en HYSYS PROCES TM <ul style="list-style-type: none"> ○ Taller 6: flash adiabático y sin caída de presión ○ Taller 7: flash no adiabático y con caída de presión ○ Taller 12: producción de amoníaco y cálculo de utilidades • Capítulo 3: <ul style="list-style-type: none"> ○ Taller 13: flash ○ Taller 14: destilación e integración energética ○ Taller 15: reactores e integración energética ○ Taller 16: estimación de parámetros de sustancias puras ○ Taller 17: optimización de una torre de destilación ○ Taller 19: estimación de costos ○ Taller 20: simulación de procesos discontinuos: tpa ○ Taller 21: manejo de sólidos ○ Taller 26: introducción a la simulación dinámica
U25	<ul style="list-style-type: none"> • Introducción: herramientas de simulación • Bloques temáticos: <ul style="list-style-type: none"> ○ Cinética química ○ Sistemas en estado dinámico ○ Reactores: sistemas no isotermos y modelización y simulación de DTRs ○ Ajuste de parámetros • Simulación de sistemas complejos con HYSYS
U27	<ul style="list-style-type: none"> • Presentación de la asignatura (45 minutos). • Bases del modelado y la simulación de procesos (45 minutos). <ul style="list-style-type: none"> ○ Conceptos fundamentales de modelado y simulación de procesos ○ Sistemas en estado no estacionario ○ Reactores: sistemas no isotermos y modelización y simulación de DTR ○ Ajuste de parámetros • Modelos de parámetros globalizados (4 horas teóricas y 7 horas de práctica). <ul style="list-style-type: none"> ○ Modelado de sistemas de parámetros globalizados ○ Simulación de modelos de parámetros globalizados • Modelos de parámetros distribuidos (6,5 horas teóricas y 6,50 horas de práctica). <ul style="list-style-type: none"> ○ Modelado de sistemas de parámetros distribuidos ○ Simulación de sistemas de parámetros distribuidos • Optimización de procesos (4,5 horas teóricas y 4,5 horas prácticas). <ul style="list-style-type: none"> ○ Planteamiento de problemas de optimización ○ Métodos de optimización y software ○ Aplicaciones de las técnicas de optimización

Continuación del apéndice 7.

	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis de sensibilidad y estabilidad (1 hora teórica y 1 hora práctica) <ul style="list-style-type: none"> ○ Análisis de sensibilidad y estabilidad de procesos • Simuladores de procesos químicos y síntesis de procesos (7 horas teóricas y 3,5 horas prácticas) <ul style="list-style-type: none"> ○ Simuladores de procesos químicos ○ Introducción a la síntesis de procesos químicos
U29	<ul style="list-style-type: none"> • Introducción a la simulación de procesos químicos <ul style="list-style-type: none"> ○ Concepto de modelado y simulación ○ Uso y utilidad de los simuladores de procesos químicos ○ Historia de los simuladores de proceso ○ Aplicaciones de la simulación de procesos • Elementos básicos para el análisis y simulación de procesos químicos <ul style="list-style-type: none"> ○ Herramientas básicas: balances de mater y energía (general, equipos y planta completa) ○ Análisis de grados de libertad (general, equipos y planta completa) ○ Fundamentos de optimización para el análisis de procesos químicos • Seminario I: procesos de síntesis de amoniaco en EES. Balance materia y energía <ul style="list-style-type: none"> ○ Métodos termodinámicos en simulación de procesos <ul style="list-style-type: none"> ▪ Uso y selección de los métodos termodinámicos en simuladores de procesos ▪ Ejercicios prácticos de selección de métodos termodinámicos • Seminario II: proceso de síntesis de amoniaco en EES. Cálculos flash • Evaluación económica de procesos <ul style="list-style-type: none"> ○ Estimación de costes de inversión <ul style="list-style-type: none"> ▪ Desglose de los costes de inversión ▪ Estimación costes de compra de equipos ▪ Tipos de estimación de costes ▪ Métodos de Lang y Guthrie ○ Estimación de los costes de producción <ul style="list-style-type: none"> ▪ Desglose de los costes de producción ▪ Estimación de los costes de producción ○ Caso práctico detallado análisis flujo de caja • Introducción a la optimización de procesos químicos <ul style="list-style-type: none"> ○ Aplicaciones de la optimización en procesos químicos ○ Clasificación, estructura y resolución de un problema de optimización ○ Ejemplos de optimización ○ Software de optimización • Simulación y optimización de equipos y procesos de intercambio de calor y energía mecánica <ul style="list-style-type: none"> ○ Modelos de intercambiadores de calor ○ Bombas, compresores y válvulas

Continuación del apéndice 7.

	<ul style="list-style-type: none"> • Seminario III: modelado y cálculo de intercambiadores (Calderas) con EES. • Seminario IV: modelado y cálculo de bombas y compresores con EES. • Simulación y optimización de reactores químicos <ul style="list-style-type: none"> ○ Simulación de reactores químicos (conversión, equilibrio, cinéticos). ○ Tipos de modelos de reactores en simuladores de proceso. ○ Simulación y optimización del desempeño de un reactor (maximización de conversión y selectividad). ○ Análisis de equilibrio. Cálculo y simulación empleando métodos estequiométricos y no estequiométricos. • Seminario V: ejemplos de resolución de reactores con EES • Seminario VI: ejemplos de resolución de reactores en Aspen • Simulación y optimización de procesos de separación <ul style="list-style-type: none"> ○ Optimización del diseño de absorbedores y strippers • Seminario VII: optimización con EES del diseño de un stripper para eliminación de tolueno de un residuo acuoso con aire. • Seminario VIII: Proceso de síntesis de amoniaco con EES. Simulación planta completa.
U30	<ul style="list-style-type: none"> • Bloque I: modelos. (2 horas) <ul style="list-style-type: none"> ○ Principios de la modelización (2 horas). Introducción, definición de sistemas, tipos de modelos, simuladores, tipos de variables, grados de libertad en un sistema. • Bloque II: optimización de procesos (12 horas) <ul style="list-style-type: none"> ○ Introducción a la optimización de procesos (2horas) <ul style="list-style-type: none"> ▪ Funciones objetivo ▪ Concavidad y convexidad ▪ Métodos analíticos de búsqueda de puntos óptimos ▪ Condiciones Karush-Kunt-Tucher KKT ○ Optimización sin restricciones (3 horas teóricas) <ul style="list-style-type: none"> ▪ Funciones univariables: Métodos uniformes y secuenciales ▪ Métodos directos (DSC-Powell) e indirectos (Newton Raphson) ▪ Funciones multivariables: Búsqueda directa <ul style="list-style-type: none"> ✓ Hooke-Jeeves y Nelder-Mead ✓ Búsqueda indirecta: Wetstein y BFGS ○ Optimización con restricciones (4 horas) <ul style="list-style-type: none"> ▪ Programación lineal: algoritmo simplex. ▪ Análisis de sensibilidad. ▪ Dualidad. ▪ Programación no lineal: método de gradiente reducido generalizado (GRG) y método complex.

Continuación del apéndice 7.

	<ul style="list-style-type: none"> ○ Análisis de redes (3 horas) <ul style="list-style-type: none"> ▪ Grafos ▪ Algoritmo Dijkstra ▪ Algoritmo Ford-Fulkerson ▪ Método de Vogel ▪ Método húngaro para el problema de asignación ▪ Estrategias CPM y PERT • Bloque III: Análisis y simulación de procesos (7 horas) <ul style="list-style-type: none"> ○ Estructura de sistemas (1hora) <ul style="list-style-type: none"> ▪ Sistemas y subsistemas ▪ Matrices asociadas: booleana, de adyacencia, de incidencia y de alcanzabilidad ▪ Identificación de ciclos ▪ Sistemas dispersos ▪ Estrategias de simulación ○ Estrategia modular secuencial para la simulación de procesos en régimen estacionario (4 horas) <ul style="list-style-type: none"> ▪ Algoritmos para particionado y ordenación ▪ Algoritmos para rasgado de ciclos ▪ Algoritmos de convergencia ▪ Ciclos anidados ▪ Algoritmo de Gundersen ○ Estrategia orientada a ecuaciones para la simulación de procesos en régimen estacionario (2 horas) <ul style="list-style-type: none"> ▪ Algoritmos para selección de variables de diseño ▪ Algoritmos para asignación de variables de salida ▪ Singularidad ▪ Algoritmos para particionado y ordenación <p>Los temas de 2 a 8 tienen asociado cada uno una clase interactiva de seminario (7 en total para cada uno de los 2 grupos) para resolución de problemas (empleando hoja de cálculo y MATLAB) y dudas.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Clases interactivas de laboratorios (10 horas, 5 sesiones) <ul style="list-style-type: none"> ○ Sesión 1: EXCEL. Programación lineal, análisis de informes de respuestas, sensibilidad y límites. ○ Sesión 2: EXCEL. Problemas de redes. Análisis de informes de respuestas, sensibilidad y límites. ○ Sesión 3: EXCEL. Problemas CPM y programación no lineal. Análisis de informes de respuestas, sensibilidad y límites. ○ Sesión 4: HYSYS. Estructura, módulos, convergencia, unidades de proceso y lógicas. ○ Sesión 5: HYSYS. Condiciones óptimas de operación de un proceso con reacción química.
U31	<ul style="list-style-type: none"> • Simulación de procesos. Diagrama de flujo: <ul style="list-style-type: none"> ○ Simulación por ordenador ○ Tipos de simuladores ○ Optimización

Continuación del apéndice 7.

	<ul style="list-style-type: none">• Simulación modular secuencial<ul style="list-style-type: none">○ Descomposición de sistemas a gran escala○ Algoritmos de particionamiento○ Descomposición de redes cíclicas máximas• Simulación orientada a ecuaciones<ul style="list-style-type: none">○ Método de factorización local (criterio de Markowitz)○ Reordenación 'a priori' de matrices dispersas○ Fase numérica• Grados de libertad de un diagrama de flujo<ul style="list-style-type: none">○ Grados de libertad○ Resolución de sistemas de ecuaciones no cuadrados○ Elección de las variables de diseño• Propiedades físicas en simuladores de procesos<ul style="list-style-type: none">○ Obtención y uso de propiedades físicas○ Sistemas computarizados de propiedades físicas• Diseño conceptual de procesos<ul style="list-style-type: none">○ Síntesis jerárquica.○ Síntesis basada en programación matemática.○ Ejemplos de aplicación: síntesis de redes de cambiadores de calor (método de diseño 'pinch') y extensiones del método pinch.• Optimización de procesos químicos<ul style="list-style-type: none">○ Conceptos básicos sobre optimización○ Optimización no lineal sin restricciones○ Conceptos básicos de la optimización no lineal con restricciones (igualdad y desigualdad)• Métodos numéricos de optimización sin restricciones<ul style="list-style-type: none">○ Optimización multivariable sin restricciones○ Método de gradiente○ Método de Newton○ Método de secante• Programación lineal<ul style="list-style-type: none">○ Definiciones y teoremas básicos de la programación lineal○ Resolución del problema○ El algoritmo del Simplex○ Programación cuadrática• Métodos numéricos para la optimización de problemas no lineales con restricciones.<ul style="list-style-type: none">○ Métodos de penalización, barrera y Lagrangiana aumentada○ Programación cuadrática sucesiva○ Método del gradiente reducido
--	--

Continuación del apéndice 7.

	<ul style="list-style-type: none"> • Introducción a la programación matemática con variables discretas <ul style="list-style-type: none"> ○ Programación lineal entera mixta ○ Algoritmos de ramificación y acotamiento con relajación lineal ○ Programación no lineal entera mixta • Modelado con variables binarias <ul style="list-style-type: none"> ○ Conceptos básicos de álgebra de Boole ○ Transformación de expresiones lógicas a expresiones algebraicas ○ Modelado con variables discretas y variables continuas ○ Modelado de disyunciones
U32	<ul style="list-style-type: none"> • Bloque 1: diseño y simulación de procesos químicos <ul style="list-style-type: none"> ○ Dys 1 <ul style="list-style-type: none"> ▪ Diseño de procesos químicos ▪ Etapas: síntesis y análisis ▪ Fases y desarrollo ▪ Simulación de procesos ▪ Optimización de procesos ▪ Situación actual y perspectiva ○ Dys 2 <ul style="list-style-type: none"> ▪ Modelización de procesos ▪ Modelos: tipos y características ▪ Métodos numéricos ▪ Ejemplos prácticos de modelización ○ Dys 3 <ul style="list-style-type: none"> ▪ Sistemas y subsistemas ▪ Grados de libertad y variables de diseño ▪ Ejemplos de algoritmos de selección de variables de diseño ▪ Modificación de diagramas de flujo ○ Dys 4 <ul style="list-style-type: none"> ▪ Descomposición de diagrama de flujo. ▪ Localización de ciclos máximos. ▪ Aplicación de algoritmo: basados en matrices booleanas, de <i>sargent</i> y <i>westerberg</i> y de <i>tarjan</i>. ▪ Ciclos menores: algoritmos de localización (<i>partitioning</i>) y de ruptura (<i>tearing</i>). ○ Dys 5 <ul style="list-style-type: none"> ▪ Simuladores ▪ Tipos: modular secuencial, modular simultáneo y basado en ecuaciones ▪ Simuladores comerciales ○ Dys6 <ul style="list-style-type: none"> ▪ Iniciación al uso del simulador comercial HYSYS ▪ Casos prácticos

Continuación del apéndice 7.

<ul style="list-style-type: none">• Bloque 2: optimización de procesos<ul style="list-style-type: none">○ Opt 1<ul style="list-style-type: none">▪ Conceptos básicos de optimización▪ Clasificación de los problemas de optimización y técnicas generales de resolución▪ Aplicación del cálculo diferencial▪ Multiplicadores de lagrange○ Opt 2<ul style="list-style-type: none">▪ Optimización no lineal sin restricciones: búsqueda univariable.▪ Métodos indirectos: de Newton y de la secante.▪ Métodos directos: de búsqueda dicotoma, de los 5 puntos, de la sección áurea de Fibonacci.▪ Métodos de aproximación polinómica.○ Opt 3<ul style="list-style-type: none">▪ Optimización no lineal sin restricciones▪ Búsqueda multivariable▪ Métodos directos: de búsqueda univariante, simplex secuencial y de Hooke-Jeeves▪ Métodos indirectos: del gradiente▪ Otros métodos○ Opt 4<ul style="list-style-type: none">▪ Optimización lineal con restricciones▪ Programación lineal▪ Introducción y planteamiento▪ Resolución gráfica y resolución algebraica▪ El método simplex▪ Dificultades y soluciones aportadas• Bloque 3: diseño en presencia de incertidumbre<ul style="list-style-type: none">○ Incertidumbre 1<ul style="list-style-type: none">▪ Introducción al diseño en presencia de incertidumbre▪ Flexibilidad de un proceso▪ Índice de flexibilidad• Bloque 4: diseño de experimentos<ul style="list-style-type: none">○ DDE 1<ul style="list-style-type: none">▪ Introducción al diseño de experimentos▪ Diseño factoriales▪ Iniciación a las técnicas EVOP• Prácticas<ul style="list-style-type: none">○ Práctica 1: manejo de paquetes informáticos de simulación: relacionada con los contenidos del bloque 1, bloque 2.○ Aplicación de paquetes informáticos y del simulador comercial HYSYS a la resolución de casos prácticos de simulación de procesos y a otros contenidos del programa teórico.

Continuación del apéndice 7.

U34	<ul style="list-style-type: none"> • Conceptos básicos de simulación <ul style="list-style-type: none"> ○ Grados de libertad ○ Condiciones de equilibrio ○ Relaciones de equilibrio entre fase.s ○ Equilibrio entre fases a partir de ecuaciones de estado y de coeficientes de actividad ○ Componentes hipotéticos ○ Diagrama de fases y entálpicos • Simulación de operaciones de separación <ul style="list-style-type: none"> ○ Simulación de las operaciones de destilación súbita. ○ Rectificación y absorción. ○ Métodos de cálculos aproximados y rigurosos. ○ Simulación de la extracción líquido-líquido en una etapa y en varias etapas de equilibrio. • Operaciones de cálculo especiales y dimensionamiento de equipos para las operaciones de separación. <ul style="list-style-type: none"> ○ Módulos de cálculo especiales en HYSYS: <i>Adjust, Recycle</i> y <i>Set</i> ○ Columnas de platos y relleno ○ Dimensionamiento • Simulación de reactores químicos <ul style="list-style-type: none"> ○ Introducción ○ Reactor de equilibrio ○ Reactor CSTR ○ Reactor PFR • Introducción al manejo de ASPEN <ul style="list-style-type: none"> ○ Generalidades ○ Caso práctico de manejo del simulador ASPEN • Simulación de operaciones unitarias <ul style="list-style-type: none"> ○ Introducción ○ Mezcladores y divisores de corriente ○ Elementos impulsores de fluidos ○ Válvulas y tuberías ○ Equipos para el intercambio de calor ○ Separación y destilación súbita ○ Decantadores ○ Rectificación, extracción líquido-líquido y absorción • Simulación avanzada de operaciones de separación <ul style="list-style-type: none"> ○ El módulo RadFrac ○ La convergencia con el módulo RadFrac • Simulación de reactores químicos <ul style="list-style-type: none"> ○ Introducción ○ Tipos de reacciones químicas ○ Cinética de reacciones químicas ○ Tipos de reactores químicos ○ Reactor continuo de mezcla perfecta ○ Reactor continuo de flujo pistón ○ Reactor discontinuo de mezcla perfecta
-----	--

Continuación del apéndice 7.

	<ul style="list-style-type: none"> • Herramientas para el análisis conceptual de procesos químicos <ul style="list-style-type: none"> ○ Introducción ○ Análisis de corrientes ○ Equilibrios binarios ○ Curvas de residuo ○ Análisis de sensibilidad ○ Especificaciones de diseño ○ Convergencia • Simulación de procesos químicos con HYSYS, PROMAX y Aspen <ul style="list-style-type: none"> ○ Simulación y análisis del comportamiento de plantas químicas complejas. ○ Comparativa de resultados.
U36	<ul style="list-style-type: none"> • Modelado de procesos químicos: 1 hora de teoría, 2 horas de trabajo autónomo. • Simulación modular secuencial. Aspen Plus: 4 horas de teoría, 9 horas de práctica en aula, 3 horas de tutoría, 2.5 horas de evaluación, 12 horas de trabajo autónomo. • Simulación orientada a ecuaciones. Aspen Custom, Modeller: 4 horas de teoría, 12 horas prácticas de laboratorio, 3 horas de tutoría, 2.5 horas de evaluación, 12 horas de trabajo autónomo. • Simulación de un proceso industrial. Planta de producción de bioetanol: 6 horas prácticas de laboratorio, 3 horas de tutoría, 15 horas de trabajo en grupo. • Optimización lineal: 3 horas de teoría, 9 horas prácticas de laboratorio, 3 horas de tutoría, 2.5 horas de evaluación, 12 horas de trabajo autónomo. • Optimización no lineal: 3 horas de teoría, 9 horas prácticas de laboratorio, 3 horas de tutoría, 2.5 horas de evaluación, 12 horas de trabajo autónomo.
U39	<ul style="list-style-type: none"> • Bloque 1.- Simulación de procesos químicos (20 horas) <ul style="list-style-type: none"> ○ Introducción a la simulación de procesos químicos (2 horas). <ul style="list-style-type: none"> ▪ Definición y objetivos del diseño de procesos ▪ Manual básico de diseño. Representación gráfica de procesos ▪ Diagrama de flujos y diagramas P&I ○ Estrategias de simulación de procesos químicos (4 horas) <ul style="list-style-type: none"> ▪ Estrategias de simulación. Simuladores de procesos industriales. ▪ Teoría de grafos. ▪ Descomposición (particionado) y rasgado de procesos químicos. Algoritmo de Ollero-Amselem (OA). Algoritmo de Barkley y Motard. ▪ Selección del modelo termodinámico. Familias de modelos termodinámicos. ▪ Simulación de procesos químicos empleando Aspen HYSYS. Introducción al manejo de Aspen-HYSYS. ○ Modelo matemático de procesos químicos (8 horas). <ul style="list-style-type: none"> ▪ Ecuación general de conservación de la materia y la energía. Estrategia de resolución de problemas de balances de materia y energía en régimen estacionario. ▪ Análisis de los grados de libertad. Balance de materia y energía en sistemas no estacionarios.

Continuación del apéndice 7.

<ul style="list-style-type: none">○ Análisis económico (6 horas)<ul style="list-style-type: none">▪ Introducción al análisis económico de procesos químicos. Clases de capital y sus características.▪ Estimación de costos. Estimación de la inversión total. Depreciación.▪ Análisis de rentabilidad de proyectos químicos. Índices de rentabilidad. Métodos convencionales y modernos.• Bloque 2.- Optimización de procesos químicos (10 horas)<ul style="list-style-type: none">○ Tema 5.- Optimización de procesos químicos (10 horas)<ul style="list-style-type: none">▪ Introducción a las técnicas de optimización. Ventajas e inconvenientes en optimización de procesos.▪ Métodos numéricos de optimización. Clasificación de algoritmos de optimización no lineales sin restricciones. Clasificación de algoritmos de optimización no lineales con restricciones.▪ Búsqueda unidireccional. Optimización de una variable.▪ Programación lineal mixta. Método de branch and bound (MILP).▪ Programación no lineal.• Prácticas<p>Actividad presencial del alumno - prácticas de laboratorio.</p><p>El alumnado podrá realizar dos bloques de prácticas claramente diferenciados y con una carga lectiva total de 15 horas cada uno. La selección de un bloque u otro dependerá de la disponibilidad del equipamiento y software necesario, así como de la cantidad de alumnos matriculados.</p><p>El primer bloque versará sobre la simulación de procesos químico empleando un simulador comercial (Aspen HYSYS).</p><p>El segundo bloque versará sobre la simulación de una planta piloto consistente en un evaporador de doble película.</p><p>Las prácticas a desarrollar son las siguientes:</p>• Práctica 1: análisis y simulación de un dispositivo evaporador de doble efecto controlado a través de ordenador (15 horas). En esta práctica se abordarán los siguientes aspectos:<ul style="list-style-type: none">○ Determinación de la velocidad de evaporación○ Estudio de la velocidad de evaporación en función de las condiciones de trabajo○ Estudio de la relación de producto condensado con evaporado○ Balances de materia y energía de la unidad○ Determinación del coeficiente global de transferencia de calor○ Determinación de la eficiencia del vapor utilizado en el proceso○ Determinación del rendimiento del generador de vapor○ Calibración de los sensores de temperatura, nivel, presión y de las bombas de alimento• Práctica 2: Introducción al manejo del Aspen HYSYS (15 horas)<p>En esta práctica se abordarán los siguientes aspectos:</p><ul style="list-style-type: none">○ Introducción a Aspen HYSYS○ Instalación y definición de corrientes○ Propiedades de corrientes de materia○ Divisores, mezcladores y fraccionadores○ Balances de materia y energía○ Separador de fases instantáneo
--

Continuación del apéndice 7.

	<ul style="list-style-type: none"> ○ Separador de tres fases ○ Bombas ○ Compresores ○ Intercambiadores de calor ○ Operación <i>recycle</i> ○ Operación <i>adjust</i> (ajuste de variables) ○ Relación no lineal entre variables. Operación <i>spreadsheet</i> ○ Reactor de conversión ○ Reactor CSTR ○ Reactor PFR ○ Reacción catalítica heterogénea ○ Columna de destilación simplificada ○ Columna de destilación rigurosa
U40	<ul style="list-style-type: none"> ● Generalidades ● Análisis y Síntesis de Procesos ● Síntesis de Procesos. Introducción ● Síntesis de Procesos. Nivel 2. Entrada - Salida ● Síntesis de Procesos. Nivel 3. Recirculación ● Síntesis de Procesos. Nivel 4. Separación ● Síntesis de Procesos. Nivel 5. Integración Energética ● Síntesis de Procesos. Modelos de costo ● Mejoras de procesos existentes ● Optimización <p>Temario (parte práctica)</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Simuladores de proceso. Estado estacionario y simulación dinámica ● Simulación. Cálculo de propiedades ● Simulación. Transferencia de cantidad de movimiento ● Simulación. Transferencia de energía ● Simulación. Operaciones de transferencia de materia
U41	<ul style="list-style-type: none"> ● Introducción a la simulación de procesos químicos <ul style="list-style-type: none"> ○ Introducción ○ Definición de simulación de procesos en Ingeniería Química ○ Evolución histórica ○ Programas de simulación comerciales ○ Aspectos importantes a considerar ● Simulación de procesos químicos en régimen estacionario <ul style="list-style-type: none"> ○ Simulación en estado estacionario ○ Metodologías de desarrollo de modelos de simulación de procesos ○ Grados de libertad y especificaciones de diseño ○ Tipos de problemas relacionados con la simulación de procesos ● Simulación de procesos con Aspen Plus: estado estacionario <ul style="list-style-type: none"> ○ Características fundamentales del paquete de software comercial Aspen Plus. Utilización del interface gráfica. ○ Construcción de un caso de simulación. ○ Estimación de propiedades. ○ Librería de modelos de operación unitaria: Corrientes materiales y energéticas, equipos de transferencia de calor, equipos de bombeo, operaciones de separación, reactores. ○ Pseudocomponentes y modelos con fracciones de petróleo. ○ Definición de reacciones. ○ Utilidades.

Continuación del apéndice 7.

	<ul style="list-style-type: none"> • Termodinámica aplicada en simulación de procesos químicos <ul style="list-style-type: none"> ○ Revisión práctica de modelos termodinámicos ○ Metodología de selección de modelos de predicción de equilibrios de fases ○ Estimación de propiedades físicas de mezclas de componentes reales ○ Concepto de pseudocomponente • Modelos de flujo de fluidos <ul style="list-style-type: none"> ○ Análisis de tipos de flujo de fluidos ○ Cálculos de tuberías ○ Construcción de casos prácticos • Modelos de equilibrio líquido-vapor (L-V) <ul style="list-style-type: none"> ○ Destilación básica ○ Columnas de destilación ○ Trenes de destilación ○ Destilación avanzada ○ Azeótropos ○ Separación de azeótropos mediante PSD y destilación extractiva ○ Destilación con componentes no reales ○ Construcción de casos prácticos • Modelos de extracción líquido-líquido (L-L) <ul style="list-style-type: none"> ○ Extracción básica ○ Decantadores ○ Columnas de extracción ○ Construcción de casos prácticos • Modelos de reacción química <ul style="list-style-type: none"> ○ Reactores de equilibrio ○ Reactor Gibbs ○ Cinéticas de reacción ○ Modelos de reactores cinéticos: tubular y CSTR ○ Destilación extractiva ○ Construcción de casos prácticos • Herramientas avanzadas en la simulación de procesos químicos <ul style="list-style-type: none"> ○ Concepto y uso de la herramienta de optimización de procesos ○ Introducción a la simulación en régimen dinámico: sistemas de control e instrumentación ○ Construcción de casos prácticos
U43	<ul style="list-style-type: none"> • Síntesis de procesos químicos <ul style="list-style-type: none"> ○ Introducción ○ Heurísticos ○ Evaluación económica ○ Simuladores comerciales ○ Secuenciación de separadores ○ Diseño de plantas discontinuas ○ Integración energética

Continuación del apéndice 7.

	<ul style="list-style-type: none"> • Simulación en condiciones nominales <ul style="list-style-type: none"> ○ Entorno de simulador, componentes, topología, termodinámica ○ Reactores ○ Equipos de transmisión de calor ○ Equipos de separación ○ Operadores lógicos ○ Equipos de cambio de presión ○ Simulación planta • Simulación dinámica <ul style="list-style-type: none"> ○ Configuración de control ○ Controlabilidad y resiliencia ○ Simulación dinámica
U44	<ul style="list-style-type: none"> • Balances de materia y energía en estado estacionario <ul style="list-style-type: none"> ○ Ejemplo a desarrollar: balance de una planta • Aplicación de grafos a la resolución de sistemas de ecuaciones <ul style="list-style-type: none"> ○ Ejemplo a desarrollar: operaciones booleanas con Matlab • Simulación a partir de ecuaciones diferenciales ordinarias <ul style="list-style-type: none"> ○ Ejemplo a desarrollar: reactor discontinuo (Batch) • Simulación a partir de ecuaciones en derivadas parciales <ul style="list-style-type: none"> ○ Ejemplo a desarrollar: reactor tubular • Sensibilidad, función objetivo y regresión no lineal <ul style="list-style-type: none"> ○ Ejemplo a desarrollar: reactor discontinuo (Batch) • Simulación de procesos químicos con HYSYS <ul style="list-style-type: none"> ○ Ejemplo a desarrollar: operaciones unitarias de un proceso químico.

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 8. Métodos de enseñanza y aprendizaje.

Ui	Métodos de enseñanza y aprendizaje
U13	<p>El curso se desarrolla en aulas de informática, donde se provee un computador por estudiante. Los talleres que integran conocimiento son desarrollados en varias clases.</p> <p>Frecuentemente, el texto deja espacios en blanco para que el estudiante responda; también se incluyen 8 ejercicios que pueden ser realizados en clase y 16 tareas para desarrollar por fuera del aula. Los otros textos de la literatura son consultados por el estudiante fuera de clase, porque el texto guía no pretende ser profundo en los temas tratados sino que se enfoca en el uso de las herramientas de Simulación de Procesos y en desarrollar competencias para la evaluación de alternativas de procesos industriales.</p>
U25	<p>La asignatura se estructura con 3 tipos de sesiones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sesiones teóricas (1 hora) hechas con clase donde se expondrán los casos que serán estudiados en las sesiones prácticas. • Sesiones prácticas no evaluables (2 horas) hechas en las aulas de informática, en la que los alumnos individualmente en el caso de los bloques temáticos 2.1, 2.2, 2.3 y 2.4, realizan algún ejemplo práctico de alguno de los bloques. El bloque 3 se hará en forma de sesión en grupo por parte de un profesor externo, aunque aún está por confirmar. • Sesiones prácticas evaluables (2 horas) hechas en las aulas de informática en la que los alumnos, individualmente en el caso de los bloques temáticos 2.1, 2.2, 2.3 y 2.4, realizan algún ejemplo práctico de cada uno de los bloques. Al finalizar la sesión los alumnos entregan los resultados obtenidos y son evaluados.
U27	<p>Se desarrolla 7 unidades temáticas, a partir de la tercera unidad temática se inicia el laboratorio práctico.</p> <p>Durante el curso se realizarán 4 trabajos en grupo en las que los alumnos deberán buscar alguna aplicación práctica relacionada con el trabajo académico realizado. Cada uno de los trabajos se entrega por partes de manera que el grupo trabaja de forma continua a lo largo del semestre y puede corregir cada parte a partir de las indicaciones del profesor. De esta forma el trabajo está sometido a un proceso de mejora continua.</p>
U29	<p>Se formará a los alumnos en el uso de herramientas computacionales para el modelado y simulación de procesos químicos (Engineering Equation Solver y Aspen Plus). Se les entregarán guías para que aprendan el uso de los programas por ellos mismos y puedan enfrentarse posteriormente a casos prácticos de mayor envergadura que deberán entregar.</p>
U30	<ul style="list-style-type: none"> • Los contenidos de la materia se enseñarán sobre la base de clases expositiva. En cada uno de ellas, se realizarán preguntas de seguimiento de la materia en clase para la participación activa por parte del alumno. Se empleará como material de apoyo tanto la pizarra como presentaciones en PowerPoint que estarán disponibles al alumno junto con el programa y boletines de problemas en el campus virtual. • En las clases interactivas de seminario se resolverán problemas propuestos en los boletines de cada tema por parte de los alumnos. • Se realizarán prácticas de laboratorio en el aula informática para el aprendizaje de resolución de problemas de optimización en hojas de cálculo y del manejo de un simulador de proceso químicos. En un principio se realizará una enseñanza pormenorizada sobre los aspectos básicos del programa y luego se fomentará el aprendizaje autónomo por parte del alumno con el fin de que el mismo descubre utilidades diversas. Para la parte práctica se entregará en formato electrónico una memoria de prácticas a través del campus virtual. • Se realizará un pequeño trabajo en grupo reducido, y orientado por el profesor en sesiones de tutorías grupales, sobre la aplicación de un algoritmo de optimización avanzado a un problema práctico.

Continuación del apéndice 8.

U31	<ul style="list-style-type: none"> • La clase de teoría combina los recursos tradicionales de enseñanza, como la lección magistral, con técnicas que fomentan la motivación y participación del alumno. Se requieren 33 horas presenciales y 49.5 horas no presenciales. • Tutorías grupales: los alumnos trabajarán en grupos reducidos para resolver problemas abiertos característicos de la síntesis de procesos químicos, mediante software propio y comercial (Aspen HYSYS) diseñados específicamente para la ingeniería de procesos. Se requieren 12 horas presenciales y 18 horas no presenciales. • Prácticas de problemas: se resolverán problemas que consoliden los conocimientos teóricos desarrollados. Se requieren 5 horas presenciales y 7.5 horas no presenciales. • Prácticas con ordenador: resolución de proceso que por su tamaño y complejidad (toma de decisiones discretas) requieren del uso de lenguajes de modelado algebraico (GAMS). Se requieren 10 horas presenciales y 15 horas no presenciales.
U32	<ul style="list-style-type: none"> • Clases de problemas: aunque ya el propio planteamiento de las clases teóricas implicará la resolución de pequeños casos prácticos, algunas sesiones se dedicarán a la resolución de problemas planteados por el profesor en eminente carácter formativo general y cuyo texto será también depositado con carácter previo en el aula virtual. La consideración de las diferentes alternativas de resolución e plantearán para discusión entre alumnos, aunque algunos de los problemas puedan ser resuelto por el profesor. Por indicación del profesor los alumnos resolverán en clase algunos otros casos poniendo en común los caminos y hallazgos y rutas de solución. • Clases prácticas: por las características de la asignatura es indispensable conocer el manejo de diferentes softwares de simulación de procesos. El objetivo de las prácticas en aula de ordenadores será introducir al alumnado en el manejo de algunos programas de este tipo. Como HYSYS plant (Aspen Technology Inc.) con el que se resolverán determinados casos prácticos planteados por los profesores y que permitirán, dado a su carácter general, la preparación conceptual y práctica para manejar otros tipos de simuladores. La asistencia a las prácticas es de carácter obligatorio.
U34	<ul style="list-style-type: none"> • Enseñanza presencial (prácticas, 52.50 horas): el curso se divide en 4 unidades. Todas las actividades: clases magistrales, prácticas, seminarios y exámenes se realizarán en el aula informática del centro de forma continuada. Se entiende que la asignatura tiene un carácter muy práctico, y por tanto, a una breve introducción de conceptos (Clase magistral) le seguirá sin transición alguna la resolución de un caso práctico usando el ordenador como herramienta y, finalizado este, una breve discusión a modo seminario. • Otra actividad no presencial (autónoma, 90 horas): se propondrán colecciones de problemas que los alumnos han de resolver de forma cooperativa tanto en el aula informática como fuera de la misma (trabajo del estudiante). Además, elaborarán un trabajo en grupo que presentarán a los profesores encargados de la asignatura. • Tutorías de grupo presencial (2.50 horas): tutorías que permitirán conocer la evolución de la captación de conocimiento por parte de los alumnos y las dificultades que estos encuentren con el método de enseñanza y aprendizaje utilizado.
U36	<ul style="list-style-type: none"> • Actividades presenciales <ul style="list-style-type: none"> ○ Teoría: 15 horas ○ Prácticas de laboratorio: 45 horas ○ Tutorías: 15 horas ○ Evaluación: 10 horas • Actividades no presenciales <ul style="list-style-type: none"> ○ Trabajo en grupo: 15 horas ○ Trabajo autónomo: 50 horas

Continuación del apéndice 8.

U39	<p>El método docente se compondría de las siguientes actividades educativas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Clase teórica. Sesiones expositivas, explicativas y demostrativas de contenidos a cargo del profesor. Sesiones de desarrollo de aprendizaje activo a través de la resolución de problemas, casos, etc., reales o simulados. • Clases prácticas de aula. Cualquier tipo de prácticas de aula (estudio de casos, análisis diagnósticos, problemas, aula de informática, búsqueda de datos, bibliotecas, en red, Internet, etc.). • Clases prácticas de laboratorio. • Tutorías con el objetivo de revisar y discutir los materiales y temas presentados en las clases, seminarios, lecturas, realización de trabajos, etc. • Seminario. Sesiones monográficas supervisadas con participación compartida. • Actividad presencial: pruebas de evaluación. • Actividad no presencial: búsqueda de información. • Actividad no presencial: redacción de informes. • Trabajos teóricos y prácticos autónomos. Preparación de seminarios, lecturas, investigaciones, trabajos, memorias, etc. para exponer o entregar en las clases teóricas. No computa el tiempo de exposición o debate en clase, sino sólo el tiempo total de preparación de trabajos. Incluye la preparación de ensayos, resúmenes de lecturas, seminarios, conferencias, obtención de datos, análisis, etc. Preparación de trabajos para exponer o entregar en las clases prácticas. <p>Como resumen de la metodología propuesta, se utilizará un método mixto formado por clases teóricas que se desarrollan por el método didáctico, pero con una participación activa del alumno, junto a las clases prácticas en las que la discusión será la norma de actuación. El método se complementa con la realización de: prácticas de laboratorio, sesiones de trabajo, seminarios así como sesiones de tutorías.</p>
U40	<p>La metodología docente de la asignatura consistirá en:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Clases teóricas (2h/semana), para desarrollar los aspectos teóricos de la disciplina, haciendo uso de bibliografía adecuada y los recursos del aula. Todo el material que se utiliza está a disposición del alumno en el aula virtual. • Clases prácticas en el aula (1h/semana). Se realizarán ejercicios prácticos para desarrollar y fijar los conceptos explicados. Se propondrán actividades para discutir y proponer alternativas al diseño para fijar mejor los conceptos teóricos de la metodología del Análisis y Síntesis de Procesos y su repercusión en el desarrollo, construcción, y operación de las plantas químicas. • Clases prácticas en el aula de informática (1h/semana). Se realizarán demostraciones prácticas del uso de simuladores de proceso y ejercicios prácticos para solucionar problemas de simulación planteados. Los ejercicios realizados en las prácticas se tendrán en cuenta en la evaluación final. El aula virtual se utilizará para poner a disposición del alumno las referencias a todos los recursos de la asignatura: apuntes, bibliografía, software, material, etc. Los alumnos deberán seguir las actividades que se propongan en el aula virtual para poder acogerse a la evaluación continua.

Continuación del apéndice 8.

U41	<ul style="list-style-type: none"> Se realizarán prácticas semanales individuales en aula de informática (carácter obligatorio) para afianzar y aplicar los conceptos explicados en las clases teóricas. Se empleará la herramienta informática de simulación de procesos químicos Aspen Plus. En el aula de teoría se analizará y resolverán algunos de los casos planteados en las prácticas de laboratorio informático. Se realizará un trabajo en grupo consistente en la simulación de un proceso químico propuesto por los profesores.
U43	<ul style="list-style-type: none"> Clases magistrales participativas Utilización del programa Aspen HYSYS para las prácticas
U44	<p>La metodología didáctica usada en la asignatura utiliza una dinámica expositiva (presentación de contenido) en donde se presentan los diferentes conceptos teóricos. Los alumnos disponen de una hora semanal de laboratorio en la que practicarán el uso de las herramientas fundamentales de la asignatura con su propio ordenador. Para ello, recibirán una presentación-tutor, que les guiará en el desarrollo de las prácticas. Así mismo desarrollarán un proyecto de simulación de un proceso industrial en equipos de cuatro personas, a lo largo de la asignatura. Para el estudio personal del alumno, se facilitan los programas informáticos necesarios, problemas propuestos para el trabajo individual, documentos correspondientes como ayuda en las sesiones prácticas y recursos bibliográficos.</p> <p>Es necesario disponer de ordenador personal para cursar la asignatura.</p>

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 9. **Métodos de evaluación y aprendizaje de la asignatura con contenido de simulación de procesos de las diferentes universidades**

Ui	Métodos de evaluación y aprendizaje
U12	<ul style="list-style-type: none"> Tareas, cortos y exposiciones 20 % Parciales 50 % Trabajo Final 30 %
U25	<ul style="list-style-type: none"> La asignatura se evalúa en forma continua con 4 actividades que computan un 25 % cada una. Para aprobar la asignatura será necesario sacar un mínimo de 5 como nota media de la evaluación continua. Todas las actividades evaluables se deben haber hecho. El alumno que no asista a una actividad evaluable tendrá una calificación de 0 en aquella actividad. Aquel alumno que haga menos de 3 actividades evaluables automáticamente tiene un No Evaluable de la asignatura. El alumno que no supere la asignatura mediante la evaluación continua (ya haya suspendido o tenga un No Evaluable) podrá hacer un examen final de recuperación, que incluirá cualquier parte de la asignatura y que computará por un 100 %. También podrán hacer el examen de recuperación los alumnos aprobados para subir nota, pero entonces renuncian en la nota de la evaluación continuada.

Continuación del apéndice 9.

	<ul style="list-style-type: none"> Cualquier alumno que se presente a este examen automáticamente renuncia a cualquier calificación previa que tuviera de forma continua. La nota mínima para superar este examen final vuelve a ser de 5. En el caso de no presentarse a este examen el alumno mantendrá la nota de la evaluación continua (sea la que sea).
U27	<ul style="list-style-type: none"> Se realizan 3 pruebas escritas de respuesta abierta, con un porcentaje del 60 % de la nota total. Cada prueba escrita corresponde a los contenidos de modelos matemáticos de procesos de parámetros globalizados, de procesos de parámetros distribuidos y optimización de procesos. A lo largo del curso deberán entregarse 4 trabajos consistentes en el modelado y simulación de un sistema de parámetros globalizados, modelado y simulación de un sistema de parámetros distribuidos, optimización de un proceso y diseño de un proceso mediante un simulador. El porcentaje corresponde al 40 % de la nota total. Los alumnos que tengan una nota menor a 4 puntos en alguna de las pruebas escritas deberán presentarse a la prueba de residual correspondiente. La prueba residual correspondiente a los trabajos tendrá lugar a lo largo del curso y no al final del mismo, siendo obligatoria para aquellos trabajos con nota menor a 4 puntos.
U29	<ul style="list-style-type: none"> El sistema de evaluación se basa principalmente en un examen final escrito y en la realización de un caso práctico de simulación y optimización. El examen escrito incluye preguntas de teoría y problemas de todo el contenido del curso, puede suponer entre un 70% - 80 % de la nota global mientras que el caso práctico un 20% - 30 %. Para aprobar la asignatura la nota global debe ser superior a un 5 y además debe cumplirse que la nota del examen no sea menor a 4. La entrega de los casos prácticos no es obligatoria pero en tal caso la probabilidad de aprobar la asignatura disminuye considerablemente. El caso práctico realizado a lo largo del curso se tendrá en cuenta en el cálculo de la nota, los alumnos que repitan el curso y hayan aprobado el caso práctico en años anteriores podrán optar por no volver a realizarlo pero en ese caso la nota final será exclusivamente la del examen final escrito.
U30	<p>Se realizará un seguimiento del aprendizaje de los estudiantes mediante la realización de pequeños trabajos en forma de resolución de problemas de forma individual y en grupo. Así mismo, los estudiantes harán un examen de resolución de problemas para la parte teórica y uno práctico para el laboratorio que permitirá individualizar la calificación final.</p> <p>Distribución de la calificación:</p> <ul style="list-style-type: none"> Examen 60% (45 % teoría; 15 % práctica) Trabajos/actividades 25 % Tutorías 10 % (presentación de trabajo en grupo) Informe profesor 5 % <p>Para aprobar es necesario obtener como mínimo 5 puntos y 3/10 (excepto en el examen práctico) en cada una de las partes de las que consta la evaluación.</p> <p>La asistencia a las clases prácticas y la realización del trabajo en grupo, dados sus características de exigencia presencial y no recuperables, son obligatorias para superar la asignatura tanto en la convocatoria ordinaria como de recuperación.</p> <p>En la convocatoria de recuperación se mantiene la puntuación acumulada de la evaluación continua de trabajos/actividades. En caso de no haber alcanzado el mínimo exigido se planificarán unas actividades para que el alumno, tras su superación, tenga oportunidad de superar la materia.</p> <p>Los alumnos repetidores si se van a presentar en las convocatorias ordinarias pueden usar las puntuaciones acumuladas de cursos anteriores, si lo consideran adecuado, o participar como un alumno nuevo. Deben informar de su decisión al profesor en la primera quincena de curso.</p>

Continuación del apéndice 9.

	<p>En caso de optar por la convocatoria extraordinaria mantendrán las puntuaciones alcanzadas en los apartados de trabajos/actividades, tutorías y prácticas. En caso, de no tener el mínimo exigido en trabajos/actividades, se planificarán unas actividades para que el alumno, tras su superación, tenga oportunidad de superar la materia.</p>
U31	<p>Las competencias relacionadas con el conocimiento que deriven de las actividades formativas de presentación de conocimientos y del estudio individual del estudiante serán evaluadas mediante una prueba final escrita.</p> <p>Para la valoración de la resolución de problemas desarrollo de trabajos y actividades de carácter individual o en grupo (seminarios y tutorías) se realizará una evaluación continua en la que se valorará la calidad de los procedimientos y resultados obtenidos, la claridad de las exposiciones orales y el análisis y síntesis de la información.</p> <p>Las clases prácticas de ordenador serán objeto de evaluación continua con especial atención al conocimiento de la labor a realizar, grado de autonomía en el manejo de los métodos y programas, destrezas adquiridas y capacidad de trabajo sólo y en equipo.</p> <p>Se tendrá en cuenta también el interés, puntualidad y atención etc., mostrado por el alumno durante la realización de cada una de las prácticas. Asimismo, se valorarán los informes elaborados sobre los resultados obtenidos y el tratamiento científico de los mismos, evaluándose su presentación, rigor científico y exactitud de los resultados, así como la presentación oral de los métodos usados y resultados obtenidos.</p> <p>Finalmente se realizará un examen teórico-práctico una vez terminado el ciclo de prácticas de ordenador sobre los fundamentos teóricos de éstas y los principales cálculos realizados en las mismas.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Controles con preguntas sobre los conceptos teóricos y resolución de problemas 30 %. • Informes de los problemas resueltos con GAMS 10 %. • Informes sobre los ejercicios propuestos con HYSYS 10 %. • Prueba escrita sobre todos los contenidos de la asignatura (examen final) 50 %
U32	<ul style="list-style-type: none"> • Entrega de informes con la resolución de casos prácticos (20 %): <ul style="list-style-type: none"> • Criterios de valoración: presentación en la fecha de entrega prevista, corrección en la resolución de los casos, en los resultados obtenidos y en los razonamientos aportados. Alternativas personales presentadas. • Pruebas finales consistentes en la evaluación de los conocimientos adquiridos por medio de la realización de una o varias pruebas escritas con ejercicios, problemas o cuestiones teóricas. En estas pruebas es requisito indispensable alcanzar una puntuación superior a 5/10. (80 %) <ul style="list-style-type: none"> • Criterio de evaluación: adecuación de las respuestas al contenido de las pruebas. Estructura y lógica de las respuestas así como su claridad y concisión.
U34	<p>La evaluación de esta asignatura requerirá de la realización de una serie de actividades a las que les corresponde el peso porcentual indicado entre paréntesis:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Examen con cuestiones prácticas sobre los contenidos impartidos en la asignatura (40 % de la nota) • Resolución de problemas de simulación diversos (20 % de la nota) • Resolución de un caso práctico resuelto en grupo y defendido públicamente (40 % de la nota) <p>La asignatura se aprobará siempre que en cada una de estas actividades de evaluación se alcance una calificación mínima de 4,0/10 y un valor medio para todas ellas superior a 5,0/10.</p>

Continuación del apéndice 9.

U36	<p>La evaluación continua de la asignatura consiste en asistencia al 100 % de las clases, entrega de los ejercicios en las fechas propuestas en Moodle y aprobar los exámenes que se realizaran en las fechas que se acuerden con los alumnos.</p> <p>En la evaluación continua se llevarán a cabo 3 exámenes de laboratorio y 1 examen de teoría. La nota mínima de cada examen deberá ser de 5 sobre 10 para poder aprobar la asignatura mediante evaluación continua. La nota final de la asignatura para aquellos alumnos que se hayan presentado a la evaluación continua y hayan aprobado los exámenes será:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 20 % nota media de Aspen Plus • 20 % nota media de Aspen Custom Modeller • 20 % nota media de GAMS • 20 % nota de teoría • 20 % nota media de los ejercicios entregados <p>Para los alumnos que no hagan la asignatura por evaluación continua, se llevara a cabo 1 examen en la fecha indicada por la escuela. El examen constara de 4 partes: teoría, Aspen Plus, Aspen Custom Modeller y GAMS. Las 3 últimas partes se llevarán a cabo en ordenador. Es necesario aprobar cada una de las partes para poder aprobar la asignatura. La nota final será la media entre las 4 partes.</p>
U39	<p>La valoración de cada una de las actividades de evaluación se muestra desglosada a continuación:</p> <p>Trabajos o ejercicios periódicos realizados por el alumnado de forma individual o en grupo (hasta 0,5 puntos):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Presentación y estructuración de los trabajos (Máx. 25 %). • Contenidos (Máx. 25 %). • Exposición y defensa (Máx. 25 %). • Grado de integración de las conclusiones extraídas con los conocimientos que debe haber adquirido en materias anteriores (Máx. 25 %). <p>Valoración de ejercicios prácticos en aula (Hasta 0,5 puntos).</p> <ul style="list-style-type: none"> • Planteamiento y presentación (Máx. 33 %). • Desarrollo (Máx. 33 %). • Resultado (Máx. 34 %). • AE3. Trabajo de laboratorio (Hasta 0,5 puntos). • Asistencia (obligatoria como un máximo de falta de asistencia del 10 %). • Participación en laboratorio (Máx. 60 %). • Habilidades en la utilización del instrumental/software (Máx. 40 %). <p>Memorias de las actividades de laboratorio (Hasta 1,5 puntos).</p> <ul style="list-style-type: none"> • Presentación y estructuración de las memorias (Máx. 20 %). • Contenidos (Máx. 40 %). • Representación de gráficas y tablas S.I. (Máx. 20 %). • Conclusiones. (Máx. 20 %). <p>AE5. Exámenes. (Hasta 7 puntos), y que abarcará la parte teórica impartida (25 % de la nota) y la resolución de problemas específicos relacionados sobre la materia impartida (75 % de la nota).</p> <p>En caso de que se aprueben las prácticas pero no la asignatura, éstas quedarán superadas para posteriores convocatorias, no siendo necesario que se repitan.</p>

Continuación del apéndice 9.

U40	<p>Tanto la evaluación continua como la evaluación única se llevarán a cabo según el <i>Reglamento de evaluación y calificación de la Universidad de La Laguna</i>, o el reglamento vigente en cada momento.</p> <p>En la evaluación continua se basa en la valoración de la puntuación obtenida en las actividades de clase, resolución de problemas y seminarios mediante la propuesta a lo largo del curso de diferentes problemas a realizar y temas de discusión. Todos los ejercicios han de elevarse al servidor web de la asignatura (aula virtual) en la forma que se indique. Hay que entregarlos resueltos antes de la fecha límite que se va fijando. Problemas entregados fuera de esas fechas no cuentan. La participación de esta parte en la nota final es un 20%, junto con la nota obtenida en la prueba final. Para poder acogerse al sistema de evaluación continua el alumno deberá haber presentado al menos el 80 % de las actividades. Caso contrario su nota será exclusivamente la que se obtenga de la prueba final de convocatoria (evaluación alternativa).</p> <p>Tanto en la evaluación continua como en la evaluación alternativa se evaluarán por separado los dos aspectos que conforman esta asignatura. Ambas partes han de ser aprobadas para poder calcular la nota.</p> <p>Simulación por ordenador. La valoración de los conocimientos prácticos en simulación se hace por medio de un examen sobre la realización previa de una simulación asignada. Se tratará de valorar la madurez del alumno en la resolución de un problema utilizando simulación. Contribuye a la nota final en un 50 %.</p> <p>Simulación y optimización, métodos de análisis y síntesis de procesos. Examen a realizar en la que se valoran los conocimientos de la parte teórica de la materia. Consta de dos partes: una primera parte tipo test en la que se pregunta sobre toda la materia y en la que las cuestiones tienen distinto peso: y una segunda parte con dos problemas. El examen tipo test es parte de la convocatoria y no se guarda de forma individual. Para aprobar esta parte hay que superar el tipo test (300 sobre 400 puntos) y la parte teórica. Estas partes contribuyen a la nota en un 50%. Ambas partes se realizan el mismo día y en la convocatoria oficial del examen.</p>
U41	<ul style="list-style-type: none"> • Prueba escrita de evaluación continua/final (ponderación: 50 %), nota mínima: 5. reevaluable en la convocatoria extraordinaria. • Prácticas en aula de informática con Aspen Plus (Ponderación: 30 %). no reevaluable. Asistencia obligatoria en días asignados. • Realización de trabajos en grupo y exposición de los mismos (Ponderación: 20 %). no reevaluable.
U43	<ul style="list-style-type: none"> • Asistencia a las sesiones de prácticas con el simulador. • Realización de un proyecto individual a desarrollar con la herramienta de simulación disponible (Se sorteará el tema del proyecto al inicio de la asignatura y se realizará un seguimiento del mismo). • Examen escrito de los conocimientos impartidos en el bloque de teoría. • Instrumentos de evaluación: valoración final de informes, trabajos, proyectos, etc. Pruebas finales (escritas u orales). • Mecanismos de seguimientos: entrega de actividades en el aula virtual.

Continuación del apéndice 9.

U44	<p>La evaluación de la asignatura considerará las calificaciones obtenidas en el laboratorio, en el proyecto de simulación y del examen final.</p> <p>Es condición necesaria para aprobar la asignatura haber aprobado el laboratorio y el proyecto de simulación y que la nota del Examen Final supere los 4.5 puntos, además de tener escolaridad en todas las actividades de la asignatura. En este caso la puntuación final se obtiene aplicando la siguiente expresión:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 20 % laboratorio • 40 % proyecto de simulación • 40 % examen final <p>En caso contrario la calificación final es la menor de las calificaciones de laboratorio, proyecto de simulación o del examen.</p>
-----	---

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 10. **Bibliografía básica y complementaria de la asignatura**

Ui	Bibliografía básica	Bibliografía complementaria
U12	<ul style="list-style-type: none"> • MORA, Marcela. <i>Simulación de procesos químicos; guía práctica</i>. Medellín, Colombia: EAFIT. 2006. 95 p. 	<ul style="list-style-type: none"> • SEIDER, Warren; SEADER, Daniel; LEWIN, John D. <i>Process design, principles, synthesis, analysis and evaluation</i>. 2a ed. New York: John Wiley & Sons, 2004. 768 p. • BIEGLER, Lorenz T; GROSSMAN, Ignacio; WESTERBERG, Arthur. <i>Systematic methods of chemical process design</i>. United States: Prentice Hall, 1997. 507 p. • REID, Robert C.; SHERWOOD, Thomas K.; PRAUTSNITZ, John M. <i>Propiedades de los gases y líquidos</i>. 2a ed. New York: McGraw-Hill, 1958. 646 p. • WALAS, Stanley M. <i>Chemical engineering equipment, selection and design</i>. Butterworth-Heinemann. 3a ed. United States: Prentice Hall, 1990. 838 p. • CARNAHAN. Brice; LUTHER, James. <i>Applied numerical methods</i>. New York: John Wiley & Sons. 1990. 604 p.

Continuación del apéndice 10.

<p>U25</p>	<ul style="list-style-type: none"> • FINLAYSON, Bruce. <i>Introduction to chemical engineering computing</i>. 2a ed. New York: John Wiley & Sons, 2012. 384 p. 	<ul style="list-style-type: none"> • HAHN, Brian; VALENTINE, Daniel. <i>Essential Matlab for Engineers and Scientists</i>. 4ta ed. United States: Academic Press, 2009. 416 p. • ELNASHAIE, Said; UHLIG, Frank. <i>Numerical techniques for chemical and biological engineers using MATLAB</i>. New York: Springer, 2007. 608 p. • CUTLIP, Michael; SHACHAM, Mordechai. <i>Resolución de problemas en ingeniería química y bioquímica con polymath, Excel y MATLAB</i>. 2a ed. Madrid, España: Prentice Hall. 2008. 706 p. • FOGLER, Scott. <i>Elementos de ingeniería de las reacciones químicas</i>. 4a ed. United States: Pearson Prentice Hall, 2008. 1115 p. • OCTAVE, Levenspiel. <i>Ingeniería de las reacciones químicas</i>. 3a ed. México: Umusa Wiley, 2006. 688 p. • MISSEN, Ronald. <i>Chemical reaction engineering and kinetics</i>. New York: John Wiley & Sons, 1998. 700 p.
<p>U27</p>	<ul style="list-style-type: none"> • GONZÁLVEZ, José, SANTAFÉ, Asunción. <i>Análisis y simulación en MATHCAD Y MATLAB de procesos de parámetros globalizados</i>. España: Universidad politécnica de Valencia, 2012. 188 p. • EDGARD, Thomas; HIMMELBLAU, David; LASDON, Leon. <i>Optimization of chemical processes</i>. 2a ed. Boston, United States: McGraw-Hill, 2001. 666 p. • RICE, Richard, DO, Duong. <i>Applied mathematics and modeling for chemical engineers</i>. Australia: University of Queensland, 1994. 731 p. • INGHAM, John. <i>Chemical engineering dynamics</i>. 3a ed. New York: John Wiley & Sons, 2009. 640 p. 	<ul style="list-style-type: none"> • REKLAITIS, Girontzas V. <i>Balances de materia y energía</i>. México: Nueva Editorial Interamericana, 2006. 649 p.

Continuación del apéndice 10.

<p>U30</p>	<p>Bloque I y III</p> <ul style="list-style-type: none"> • SCENNA, Nicolás. <i>Modelado, simulación y optimización de procesos químicos</i>. Buenos Aires, Argentina: UTN, 1999. 841 p. <p>Bloque II</p> <ul style="list-style-type: none"> • PIKE, Ronald W. <i>Optimization for engineering systems</i>. Nueva York: Van Reinhold, 1986. 417 p. 	<ul style="list-style-type: none"> • TORNERO, Josep; ARMESTO, Leopoldo. <i>Técnicas de optimización</i>. Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia, 2007. 278 p. • RARDIN, Ronald. <i>Optimization in operations research</i>. 2a ed. Prentice Hall, 1998. 1184 p. • BAZARAA, Mokhtar S.; SHERALI, Hanif D.; SHETTY, C.M. <i>Nonlinear programming: Theory and algorithms</i>. 3a ed. Nueva York, John Wiley & Sons, 2006. 872 p.
<p>U31</p>	<ul style="list-style-type: none"> • TURTON, Richard. <i>Analysis, síntesis y diseño de procesos químicos</i>. N.J., New York: Prentice Hall, 2003. 315 p. • HANYAK, Michale E. <i>Chemical process simulation and the aspen HYSYS software</i>. Lewisburg, Pensilvania: Department of chemical engineering, Bucknell University, 2012. 264 p. • DOUGLAS, James M. <i>Conceptual design of chemical processes</i>. New York: McGraw-Hill, 1988. 489 p. • PUIGJANER, Luis; OLLERO, Pedro; DE PRADA, Cesar; JIMENEZ Laureano. <i>Estrategias de modelado, simulación y optimización de procesos químicos</i>. España: Síntesis, 2006. 384 p. • EDGARD, Thomas, HIMMELBLAU, David, LASDON, Leon. <i>Optimization of chemical processes</i>. Boston: McGraw-Hill, 2001. 588 p. • SEIDER, Warren; SEADER, J.D.; LEWIN, Daniel. <i>Process design principles: synthesis, analysis and evaluation</i>. 3a ed. New York, John Wiley & Sons, 1999. 883 p. • RAVAGNANI, Mauro; CABALLERO, José. <i>Redes de cambiadores de calor</i>. San Vicente del Raspeig, España: Universidad de Alicante, 2012. 424 p. 	<ul style="list-style-type: none"> • SMITH, Robin. <i>Chemical Process design</i>. New York: McGraw-Hill, 1995. 713 p.

Continuación del apéndice 10.

	<ul style="list-style-type: none"> BIEGLER, Lorenz T.; GROSSMANN, Ignacio E.; WESTERBERG, Arthur W. <i>Systematic methods of chemical process design</i>. New York: Prentice Hall, 1997. 796 p. 	
U32		<ul style="list-style-type: none"> BIEGLER, Lorenz T.; GROSSMANN, Ignacio E.; WESTERBERG, Arthur W. <i>Systematic methods of chemical process design</i>. New York: Prentice Hall, 1997. 796 p. TURTON, Richard. <i>Análisis, síntesis y diseño de procesos químicos</i>. NJ., Boston: Prentice Hall, 2003. 108 p. DIMIAN, Alexandre. <i>Integrated design and simulation of chemical processes</i>. Amsterdam, Boston: Elsevier, 2003. 506 p. DOUGLAS, James M. <i>Conceptual design of chemical processes</i>. New York: McGraw-Hill, 1988. 489 p. SEIDER, Warren; SEADER, J.D.; LEWIN, Daniel. <i>Process design principles: synthesis, analysis and evaluation</i>. 3a ed. New York, John Wiley & Sons, 1999. 883 p. SCENNA, Nicolás. <i>Modelado, simulación y optimización de procesos químicos</i>. México: Limusa, 1999. 840 p. SMITH, Ralph. <i>Chemical Process design</i>. New York: McGraw-Hill, 1995. 712 p. RUSSELL, T.W.F. <i>Introducción al análisis en ingeniería química</i>. México: Limusa, 1976. 570 p. HIMMELBLAU, David M., BISCHOFF Kenneth B. <i>Análisis y simulación de procesos</i>. Barcelona, España: Reverté, 1922. 18 p. JIMÉNEZ, Arturo. <i>Diseño de procesos en ingeniería química</i>. Barcelona, España: Reverté, 2003. 272 p.

Continuación del apéndice 10.

		<ul style="list-style-type: none"> • RUDD, Dale. <i>Estrategia en ingeniería de procesos</i>. Madrid, España: Alhambra, D.L. 1976. 568 p. • RAVINDRAN, A. <i>Engineering optimization: methods an applications</i>. 2a ed. Hoboken, New York: John Wiley & Sons, 2006. 688 p. • RAO, Singiresu S. <i>Engineering optimization: theory and practice</i>. 4a ed. New York: John Wiley & Sons, 2009. 830 p.
U34	<ul style="list-style-type: none"> • BIEGLER, Lorenz T. <i>Nonlinear programming: concepts, algorithms, and applications to chemical processes</i>. Pittsburgh, Pennsylvania: Carnegie Mellon University, 2010. 416 p. • DOUGLAS, James M. <i>Conceptual design of chemical processes</i>. New York: McGraw-Hill, 1988. 489 p • LUYBEN, William L. <i>Distillation design and control using Aspen simulation</i>. New York: John Wiley & Sons, 2006. 345 p. • _____. <i>Plantwide dynamic simulators in chemical processing and cont</i>. EE.UU.: Marcel Dekker, 2002. 448 p. • _____. <i>Process, modeling, simulation and control for chemical enging</i>. EE.UU.: McGraw-Hill, 1990. 725 p. • SHINSKEY, F. Greg. <i>Sistemas de control de procesos: aplicación, diseño y sintonización</i>. México: McGraw-Hill, 1996. 540 p. 	
U36	<ul style="list-style-type: none"> • BIEGLER, Lorenz T.; GROSSMANN, Ignacio E.; WESTERBERG, Arthur W. <i>Systematic methods of chemical process design</i>. New York: Prentice Hall, 1997. 796 p. 	<ul style="list-style-type: none"> • FLOUDAS, Christodoulos A.; PARDALOS Panos M. <i>Encyclopedia of optimization</i>. 2a ed. New York: Springer Publishers. 2009. 4622 p.

	<ul style="list-style-type: none"> • BIEGLER, Lorenz T. <i>Nonlinear programming: concepts, algorithms, and applications to chemical processes</i>. Pittsburgh, Pennsylvania: Carnegie Mellon University, 2010. 416 p. • CABALLERO, Rafael; GÓMEZ, Trinidad; GONZÁLEZ, Mercedes; MUÑOZ, Manuel; REY, Laura; RUIZ, Federico. <i>Programación matemática para economistas</i>. España: Universidad de Málaga, 1997. 442 p. • EDGARD, Thomas, HIMMELBLAU, David, LASDON, Leon. <i>Optimization of chemical processes</i>. Boston: McGraw-Hill, 2001. 588 p. • FLOUDAS, Christodoulos A. <i>Nonlinear and mixed-integer optimization</i>. Reino Unido: Oxford University Press. 1995. 480 p. • PUIGJANER, Luis; OLLERO, Pedro; DE PRADA, Cesar; JIMENEZ Laureano. <i>Estrategias de modelado, simulación y optimización de procesos químicos</i>. España: Síntesis, 2006. 384 p. • SEIDER, Warren. <i>Product and process design principles international student versión</i>. 3a ed. New York: John Wiley & Sons, 2010. 772 p. • SCHEFFLAN Ralph. <i>Teach yourself the basics of Aspen Plus</i>. Hoboken, New York: Wiley American Institute of Chemical Engineers, 2011. 280 p. • WESTERBERG, A. W.; HUTCHISON H. P.; MOTARD R. L.; WINTER P. <i>Process Flowsheeting</i>. Gran Bretaña: Cambridge University Press, 1985. 262 p. 	<ul style="list-style-type: none"> • CASTILLO Enrique. <i>Formulación y resolución de modelos de programación matemática en ingeniería y ciencia</i>. [En línea]. <http://departamentos.unican.es/macc/personal/profesores/castillo/descargas.htm>. [Consulta: 11 de octubre de 2015] • SCENNA, Nicolás. <i>Modelado, simulación y optimización de procesos químicos</i>. México: Limusa, 1999. 840 p • COBO, Carmén; GOMEZ. Cristina. <i>Guía docente de la asignatura</i>. [En línea]. <http://ocw.unican.es/ciencia/experimentales/teoria-de-la-optimizacion/teoria-delaoptimizacion>. [Consulta: 11 de octubre de 2015].
U39	<ul style="list-style-type: none"> • PUIGJANER, Luis; OLLERO, Pedro; DE PRADA, Cesar; JIMENEZ Laureano. <i>Estrategias de modelado, simulación y optimización de procesos químicos</i>. España: Síntesis, 2006. 384 p. • SMITH, Robin. <i>Chemical processes design and integration</i>. West Sussex, Wiley, 2005. 256 p. 	<ul style="list-style-type: none"> • HOUGEN, Olaf A. <i>Principios de los procesos químicos</i>. Barcelona, España: Reverté, 1982. 576 p. • MCCABE, Warren; SMITH, Julina; HARRIOT, Peter. <i>Operaciones unitarias en la ingeniería química</i>. 7a ed. México: McGraw-Hill, 2007. 1114 p.

Continuación del apéndice 10.

U40	<ul style="list-style-type: none"> • DOUGLAS, James M. <i>Conceptual design of chemical processes</i>. New York: McGraw-Hill, 1988. 489 p. • DE CASTRO, Ollero. <i>Control e instrumentación de procesos</i>. España: Escuela Politécnica Superior de Ingeniería de Manresa, 1999. 455 p. 	<ul style="list-style-type: none"> • SMITH, Robin. <i>Chemical processes design and integration</i>. West Sussex, Wiley, 2005. 256 p. • EDGARD, Thomas, HIMMELBLAU, David, LASDON, Leon. <i>Optimization of chemical processes</i>. Boston: McGraw-Hill, 2001. 588 p.
U41	<ul style="list-style-type: none"> • TURTON, Richard. <i>Análisis, síntesis y diseño de procesos químicos</i>. NJ., Boston: Prentice Hall, 2003. 108 p. • MCCABE, Warren; SMITH, Julina; HARRIOT, Peter. <i>Operaciones unitarias en la ingeniería química</i>. 7a ed. México: McGraw-Hill, 2007. 1114 p. • SEIDER, Warren; SEADER, J.D.; LEWIN, Daniel. <i>Process design principles: synthesis, analysis and evaluation</i>. New York, John Wiley & Sons, 1999. 883 p. • SCENNA, Nicolás. <i>Modelado, simulación y optimización de procesos químicos</i>. México: Limusa, 1999. 840 p. • DOUGLAS, James M. <i>Conceptual design of chemical processes</i>. New York: McGraw-Hill, 1988. 489 p. 	
U43	<ul style="list-style-type: none"> • TURTON, Richard. <i>Análisis, síntesis y diseño de procesos químicos</i>. NJ., Boston: Prentice Hall, 2003. 108 p. • SEIDER, Warren; SEADER, J.D.; LEWIN, Daniel. <i>Process design principles: synthesis, analysis and evaluation</i>. New York, John Wiley & Sons, 1999. 883 p. • BIEGLER, Lorenz T.; GROSSMANN, Ignacio E.; WESTERBERG, Arthur W. <i>Systematic methods of chemical process design</i>. New York: Prentice Hall, 1997. 796 p. • GHASEM, Nayef. <i>Computer Methods in chemical engineering</i>. EE.UU.: CRC Press, 2011. 524 p. 	<ul style="list-style-type: none"> • FINLAYSON, Bruce. <i>Introduction to chemical engineering computing</i>. 2a ed. New York: John Wiley & Sons, 2012. 384 p. • EDGARD, Thomas, HIMMELBLAU, David, LASDON, Leon. <i>Optimization of chemical processes</i>. Boston: McGraw-Hill, 2001. 588 p. • SERBOR, Dale; EDGAR, Thomas; MELLICHAMP, Duncan. <i>Process Dynamics and control</i>. 2a ed. New York: John Wiley & Sons, 2003. 736 p.

Continuación del apéndice 10.

	<ul style="list-style-type: none"> • PUIGJANER, Luis; OLLERO, Pedro; DE PRADA, Cesar; JIMENEZ Laureano. <i>Estrategias de modelado, simulación y optimización de procesos químicos</i>. España: Síntesis, 2006. 384 p. 	
U44	<ul style="list-style-type: none"> • SEIDER, Warren; SEADER, J.D.; LEWIN, Daniel. <i>Process design principles: synthesis, analysis and evaluation</i>. New York, John Wiley & Sons, 1999. 883 p. • HIMMELBLAU, David M., BISCHOFF Kenneth B. <i>Análisis y simulación de procesos</i>. Barcelona, España: Reverté, 1922. 18 p. • CHA, Philip D.; ROSENBERG, James J.; DYM, Clyde L. <i>Fundamentals of modeling and analyzing engineerign systmes</i>. Reino Unido: Cambridge University Press, 2000. 20 p. • JIMÉNEZ, Arturo. <i>Diseño de procesos en ingeniería química</i>. Barcelona, España: Reverté, 2003. 272 p. 	<ul style="list-style-type: none"> • PRESS, Willian H.; TEUKOLSKY, Saul A.; VETTERLING, Willian T.; FLANNERY, Brian P. <i>Numerical recipes</i>. 3a ed. New York: Cambridge: Cambridge University Press, 2007. 1262 p. • CHAPRA, Steven C.; CANALE, Raymond P. <i>Numerical methods for engineers</i>. [En línea]. <http://highered.mheducation.com/sites/0073401064/information_center_view0/index.html>. [Consulta: 12 de julio de 2017]. • CHAPRA, Steven C., CANALE, Raymond P. <i>Métodos numéricos para ingenieros</i>. 6a ed. Argentina: McGraw-Hill, 2016. 375 p. • REID, Sherwood; <i>Propiedades de los gases y líquidos ó REID</i>. 4a ed. México: MacGraw-Hill, 1987. 719 p. • POLING Bruce E.; PRAUSNITZ, John M.; O'CONNELL, John P. <i>The properties of gases and liquids</i>. 5a ed. New York: McGraw-Hill, 2000. 803 p.

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 11. **Software utilizado para las prácticas de laboratorio**

Ui	Software
U12	<ul style="list-style-type: none"> • Excel • Visual Basic • Polymath • Aspen HYSYS • Chemcad • Aspen Plus • Aspen Icarus Batch Plus
U25	<ul style="list-style-type: none"> • MATLAB • Excel • Polymath
U27	<ul style="list-style-type: none"> • MATLAB • MATHCAD
U29	<ul style="list-style-type: none"> • EES • Aspen Plus
U30	<ul style="list-style-type: none"> • Aspen HYSYS • Excel
U31	<ul style="list-style-type: none"> • Aspen HYSYS • MATLAB • GAMS
U32	Aspen HYSYS
U34	<ul style="list-style-type: none"> • Aspen HYSYS • Aspen Plus • PROMAX • UNISIM
U36	<ul style="list-style-type: none"> • Aspen Plus • Aspen Custom Modeller • GAMS
U39	Aspen HYSYS
U40	UNISIM
U41	Aspen Plus
U43	<ul style="list-style-type: none"> • Aspen HYSYS • MATLAB • Intelligen
U44	<ul style="list-style-type: none"> • Aspen HYSYS • MATLAB

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 12. Programa de la asignatura propuesta

<p>UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</p>	
---	---

<p>NOMBRE DEL CURSO</p>	<p>“Diseño, Simulación y Optimización de procesos químicos en Aspen HYSYS”</p>
-------------------------	--

<p>PREREQUISITOS: 380 FISICO QUÍMICA 1 382 FISICO QUÍMICA 2 386 LABORATORIO DE FISICO QUÍMICA 1 388 LABORATORIO DE FISICO QUÍMICA 2 410 BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA –IQ1- 412 FLUJO DE FLUIDOS –IQ2- 414 TRANSFERENCIA DE CALOR –IQ3- 416 TRANSFERENCIA DE MASA EN ETAPAS DE EQUILIBRIO –IQ4- 428 LABORATORIO DE INGENIERÍA QUIMICA 1 430 LABORATORIO DE INGENIERÍA QUÍMICA 2 700 INGENIERÍA ECONÓMICA</p>	<p>POSTREQUISITOS: N/A</p>
<p>CATEGORÍA: OBLIGATORIA</p>	<p>DURACIÓN DEL CURSO: UN SEMESTRE ACADÉMICO DEL CALENDARIO GREGORIANO</p>
<p>PROFESOR:</p>	<p>PROFESOR: N/A</p>
<p>EDIFICIO:</p>	<p>SECCIÓN: N/A</p>
<p>SALÓN: AULA DE INFÓRMATICA</p>	<p>SALÓN DE LABORATORIO: N/A</p>
<p>HORAS POR SEMANA DEL CURSO: 3 HORAS</p>	<p>HORAS POR SEMANA QUE SE IMPARTE EL LABORATORIO: N/A</p>
<p>DÍAS QUE SE IMPARTE EL CURSO:</p>	<p>DÍAS QUE SE IMPARTE EL LABORATORIO: N/A</p>
<p>HORAS DE TRABAJO: PRESENCIALES: 3 HORAS POR SEMANA NO PRESENCIALES: 6 HORAS DE ESTUDIO PERSONAL</p>	<p>DURACIÓN DEL CURSO: UN SEMESTRE ACADÉMICO DEL CALENDARIO GREGORIANO</p>

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 13. **Objetivo general de las acciones formativas de la asignatura**

Integrar los conocimientos básicos de ingeniería química y aplicarlos en la síntesis, diseño, modelado, control y optimización de procesos químicos, así también de introducir al estudiante en la simulación de procesos químicos en estado estacionario y dinámico a través del manejo de simuladores comerciales de procesos químicos industriales.

- Competencias genéricas de las acciones formativas de la asignatura

Tema Integrador de las competencias genéricas	Código	Competencias
Comunicarse	CG-1	Capacidad de comunicarse efectivamente en forma verbal, gráfica y por escrito.
	CG-4	Capacidad de comunicarse efectivamente utilizando tecnologías de información y comunicación –tic's-.
Relacionarse y trabajar en equipo	CG-5	Capacidad para trabajar en equipo.
	CG-7	Capacidad para organizar, planear, conducir y optimizar tiempo y recursos.
Fomentar desarrollo propio y mejora continua	CG-10	Capacidad para comprometerse a aprender por cuenta propia y a lo largo de toda la vida.
	CG-11	Capacidad para comprometerse con la autocrítica, la autoevaluación, el logro y la mejora continua.
Investigar, generar y gestionar información y datos	CG-20	Capacidad para investigar y organizar información y datos.
	CG-21	Capacidad para diseñar y conducir experimentos utilizando el método científico.
	CG-22	Capacidad para interpretar, analizar, integrar y evaluar información y datos.
Analizar, plantear y solucionar problemas de ingeniería	CG-23	Capacidad para aplicar matemáticas, física, química, estadística, biología y otras materias asociadas a las ciencias de ingeniería.
	CG-24	Capacidad para el análisis y la síntesis.
	CG-25	Capacidad para identificar, entender, analizar y tomar decisiones ante problemas reales en el contexto global, regional, nacional y local.
	CG-26	Capacidad para pensar en forma lógica, conceptual, deductiva y crítica.
	CG-27	Capacidad para modelar, simular y controlar sistemas.
	CG-28	Capacidad para la creatividad y la innovación.
	CG-29	Capacidad para pensar con enfoque multidisciplinario e interdisciplinario.

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 14. **Competencias específicas de las acciones formativas de la asignatura**

Se presentan las competencias a desarrollar en la asignatura. Así como, las competencias requeridas o necesarias de poseer para estudiar la asignatura (éstas han sido obtenidas en asignaturas prerrequisitos).

Tema integrador de las competencias específicas	Código	Competencia	CR*
Química	CE-1	Capacidad para demostrar conocimiento de los tipos principios de reacción química y las principales características asociadas a cada una de ellas	X
	CE-2	Capacidad para demostrar conocimiento de los principios y procedimientos usados por los métodos estequiométricos de análisis químico.	X
	CE-3	Capacidad para demostrar conocimiento de la cinética química del carbono elemental y los hidrocarburos	X
	CE-4	Capacidad para demostrar conocimiento de la cinética química, incluyendo equilibrio trifásico.	X
	CE-5	Capacidad para demostrar conocimiento de las propiedades fisicoquímicas de las sustancias puras y mezclas, incluyendo equilibrio bifásico.	X
	CE-6	Capacidad para demostrar conocimiento de los aspectos estructurales de la química de los hidrocarburos halogenados y oxigenados.	X
	CE-7	Capacidad para demostrar conocimiento del equilibrio iónico en solución acuosa.	X
	CE-8	Capacidad para demostrar conocimiento sobre la naturaleza y los fundamentos de la química general.	X
	CE-9	Capacidad para demostrar conocimiento sobre los métodos analíticos fisicoquímicos: Fundamentos y técnicas específicas.	X
	CE-11	Capacidad para demostrar conocimiento de la ciencia y tecnología metrológica, sus sistemas de unidades, los instrumentos usados en los campos científicos, industriales y legales.	X
	CE-12	Capacidad para demostrar conocimiento y habilidad para la observación, seguimiento y medida de propiedades, eventos o cambios químicos y fisicoquímicos.	X
Prácticas de laboratorio y manejo de datos	CE-15	Capacidad para demostrar conocimiento y destreza en el manejo y procesamiento informático de datos.	X
Fenómenos de transporte y operaciones unitarias	CE-19	Capacidad para demostrar conocimiento de la historia contemporánea de la Ingeniería química, los fenómenos de transporte, las operaciones Unitarias, los procesos químicos, los diagramas de flujo utilizados, los campos de acción de la ingeniería química y sus diferentes definiciones.	
	CE-20	Capacidad para demostrar conocimiento sobre balance de materia y energía, tanto en régimen estacionario como no estacionario.	X
	CE-21	Capacidad para demostrar conocimiento y habilidad para el diseño de equipo de operaciones unitarias controladas o no por fenómenos de transporte.	X
	CE-22	Capacidad para demostrar conocimiento en equipos de operaciones unitarias físicas y químicas en donde el fenómeno controlante sea la transferencia individual de momento.	X

Continuación del apéndice 14.

	CE-23	Capacidad para demostrar conocimiento en equipos de operaciones unitarias físicas en donde el fenómeno controlante sea la transferencia individual de calor.	X
	CE-24	Capacidad para demostrar conocimiento en equipos de operaciones unitarias físicas en donde los fenómenos controlantes sean la transferencia individual o simultánea masa.	X
	CE-25	Capacidad para demostrar conocimiento en equipos de operaciones unitarias físicas en donde el fenómeno controlante no son los fenómenos de transporte.	X
	CE-26	Capacidad para demostrar conocimiento en equipos de operaciones unitarias químicas así como la cinética de los mismos y las principales reacciones químicas.	X
	CE-27	Capacidad para demostrar conocimiento en equipos de operaciones unitarias físicas en donde los fenómenos controlantes sean la transferencia individual o simultánea masa a través de membranas.	X
Diseño de equipo y plantas de proceso, ingeniería aplicada.	CE-33	Capacidad para demostrar conocimiento sobre los aspectos fundamentales del diseño de procesos, bioprocesos, productos y plantas industriales.	
	CE-34	Capacidad para demostrar conocimiento y realizar evaluaciones económicas en cualquiera de sus grados de precisión de diseños de equipos, productos y plantas de proceso y bioproceso industrial.	X
	CE-35	Capacidad para demostrar conocimiento para establecer viabilidad económica de un proyecto nuevo o de mejora de un proceso existente.	X
	CE-40	Capacidad para demostrar conocimiento sobre la aplicación de herramientas informáticas actualizadas, en el diseño, optimización, control y automatización de equipos, procesos y bioprocesos.	

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 15. **Relación entre contenidos propuestos y competencias**

De acuerdo a los contenidos, ésta asignatura contribuye al desarrollo de la(s) siguiente(s) competencias específicas:

Núm.	Contenidos	Competencias específicas a desarrollar	Competencias genéricas a emplear
1	Química	CE-1, CE-2, CE-3, CE-4, CE-5, CE-6, CE-7, CE-8, CE-9, CE-10, CE-11, CE-12.	CE-1, CE-2, CE-3, CE-4, CE-5, CE-6, CE-7, CE-8, CE-9, CE-11, CE-12, CE-15, CE-19, CE-20, CE-21, CE-22, CE-23, CE-24, CE-25, CE-26, CE-27, CE-33, CE-34, CE-35, CE-40.
2	Fenómenos de transporte	CE-19, CE-20, CE-21, CE-22, CE-23, CE-24, CE-25, CE-26, CE-27.	
3	Diseño de equipo y plantas de proceso, ingeniería aplicada	CE-33, CE-34, CE-35, CE-40	

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 16. **Desglose de las unidades de aprendizaje teórico de la asignatura**

Primera unidad

- Introducción: el objetivo de este bloque es introducir al estudiante en el tema de simulación de procesos químicos y su importancia.
 - Desarrollo histórico de la simulación de procesos. Relación entre modelado, simulación y optimización de procesos.
 - Descripción de las características de los tipos de métodos de simulación.
 - Modular secuencial
 - Orientado a ecuaciones
 - Modular simultáneo
 - Conceptos Básicos de la Simulación de procesos
 - Grados de libertad de un equipo
 - Grados de libertad de un diagrama de flujo
 - Elección de las variables de diseño
- Repaso de los equipos y su aplicación en las operaciones unitarias: el objetivo de este bloque es corroborar que el estudiante tiene el conocimiento fundamental sobre los equipos más utilizados en las plantas de procesos químicos.
 - Bombas y válvulas
 - Compresores y expansores
 - Equipos divisores de corriente
 - Equipos sumadores o mezcladores
 - Equipos de Intercambio de calor
 - Equipos de contacto directo entre fases
 - Reactores
 - Equipos separación flash
 - Otros.
- Termodinámica: en este bloque el objetivo es que el estudiante conozca y aprenda los criterios básicos para la correcta selección de paquetes termodinámicos
 - Paquetes termodinámicos
 - Ecuaciones de estado
 - Modelos de coeficiente de actividad
 - Modelos semi-empíricos
 - Modelos de presión de vapor
 - Modelos especiales
 - Criterios para la correcta selección del paquete termodinámico.

Continuación del apéndice 16.

<p>Segunda unidad</p> <ul style="list-style-type: none">• Simulación de operaciones unitarias en HYSYS: En este bloque el objetivo es que el estudiante empiece a asociarse con el software HYSYS realizando operaciones básicas en el simulador.<ul style="list-style-type: none">○ Mezcladores y divisores de corriente○ Elementos impulsores de fluidos○ Válvulas y tuberías○ Balance de materia○ Compresores y expansores○ Equipos para el intercambio de calor.○ Columnas de destilación○ Decantadores○ Rectificación, extracción líquido-líquido y absorción○ Reactores<ul style="list-style-type: none">▪ Reactor de equilibrio▪ Reactor CSTR▪ Reactor PFR○ Otros• Introducción a la simulación de procesos químicos con HYSYS: en este bloque el objetivo es que el estudiante aprenda a integrar las operaciones unitarias en un proceso químico completo utilizando el simulador HYSYS.<ul style="list-style-type: none">○ Procesos químicos en estado estacionario.○ Procesos químicos en estado dinámico.
<p>Tercera unidad</p> <ul style="list-style-type: none">• Evaluación económica: en este bloque el objetivo es que el estudiante desarrolle la capacidad de evaluar la rentabilidad de un proceso químico a partir de los resultados.• Optimización con la herramienta “<i>Optimizer</i>” que proporciona el software HYSYS.
<p>Cuarta unidad</p> <ul style="list-style-type: none">• Evaluación completa de procesos químicos industriales conocidos<ul style="list-style-type: none">○ Simulación en HYSYS○ Evaluación económica○ Optimización

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 17. **Metodología docente, actividades formativas de enseñanza-aprendizaje**

Núm.	Metodología	Modalidad	Actividad	Descripción del trabajo del	
				Profesor	Estudiante
1	Exposición verbal.	Presencial en grupo grande.	Clase teórica.	Clase expositiva utilizando técnicas de aprendizaje cooperativo informal de corta duración. Resolución de dudas planteadas por los estudiantes. Se trataron los temas de mayor complejidad y los aspectos más relevantes.	Presencial: escucha, comprende, toma apuntes, pregunta o responde inquietudes del profesor. No presencial: estudio de la asignatura.
2	Solución de problemas, estudio de casos y otras aplicaciones prácticas.	Presencial en grupo grande.	Clase Práctica de Problemas.	Se resolverán problemas tipo y se analizaran problemas de casos prácticos usando hojas de trabajo. Se enfatizará el trabajo en el planteamiento de los métodos de resolución. Se supondrán problemas o casos prácticos similares para que los alumnos los resuelvan individualmente o por parejas siendo guiados por el profesor.	Presencial: participación activa, Resolución de ejercicios y Planteamiento de dudas. No presencial: estudio de la asignatura y resolución de ejercicios propuesto por el profesor.
4	Solución de problemas, estudio de casos y otras aplicaciones prácticas.	Presencial en grupos grande.	Prácticas en aula de informática	Se aplicará la teoría impartida en cada tema un caso práctico resuelto mediante programas informáticos.	Presencial: participación activa, práctica de software. No presencial: estudio de Software.
8	Estudio de casos y fijación de conocimientos actuando individualmente.	No presencial complementaria (trabajo autónomo)	Preparación de trabajos e informes individuales.	Se plantea la redacción de informes individuales de acuerdo a normas y procedimientos. Se enfatizará en el trabajo, en el planteamiento de su resolución y en la presentación. Los alumnos lo resolverán individualmente.	No presencial: estudio de la materia, resolución del contenido del informe propuesto por el profesor siguiendo criterios de calidad establecidos.

Continuación del apéndice 17.

∞	Solución de problemas, estudio de casos y otras aplicaciones prácticas y cognitivas.	No presencial (trabajo autónomo).	Estudio individual e investigación bibliográfica.	Utilizando las técnicas de aprendizaje los alumnos estudiarán, discutirán y resolverán las dudas que les puedan surgir de forma individual algunas dudas las resolverán buscando material por investigación bibliográfica.	No presencial: estudio de la materia.
10	Discusión.	Presencial Individual o en grupo.	Tutoría individuales y de grupo.	Las tutorías serán individuales o de grupo con objeto de realizar un seguimiento individualizado o grupal del aprendizaje. Revisión de exámenes individual y por grupos, y motivación por el aprendizaje.	Presencial: planteamiento de dudas en horario de tutorías. No presencial: Planteamiento de dudas por correo electrónico u otros mecanismos de comunicación.
11	Plataforma Virtual.	No presencial individual o en grupos.	Vídeos Online, Video-Conferencias y aula virtual.	Se seleccionará material online para que se analice y discuta. Mediante estas acciones el estudiante reforzará sus conocimientos teóricos o prácticos de la materia.	Presencial: discusión oral o escrita del tema seleccionado en horario de clases. No Presencial: revisar, analizar y discutir el material propuesto por el profesor en forma online.

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 18. Evaluación, técnicas de evaluación para zona

- Evaluaciones periódicas para verificar el aprendizaje y con ello completar la zona de setenta y cinco puntos

Núm.	Instrumentos	Descripción	Verificador del logro	Ponderación	Genéricas evaluadas	Específicas Evaluadas
2	Prueba escrita individual práctica (examen escrito parcial)	Problemas: pruebas basada en la solución de 1 a 4 problemas o cuestiones de media o larga extensión sobre un supuesto práctico. Se evalúa principalmente la capacidad de aplicación práctica de los conocimientos teóricos.	4	40	CG-1, CG-7, CG-10, CG-11, CG-22, CG-23, CG-24, CG-25, CG-26, CG-27, CG-29	CE-1, CE-2, CE-3, CE-4, CE-5, CE-6, CE-7, CE-8, CE-9, CE-11, CE-12, CE-15, CE-19, CE-20, CE-21, CE-22, CE-23, CE-24, CE-25, CE-26, CE-27, CE-33, CE-34, CE-35, CE-40.
7	Problemas y tareas propuestas.	Resolución no presencial de problemas o tareas para presentar individualmente o en grupo.	5	10	CG-7, CG-10, CG-11	CE-1, CE-2, CE-3, CE-4, CE-5, CE-6, CE-7, CE-8, CE-9, CE-11, CE-12, CE-15, CE-19, CE-20, CE-21, CE-22, CE-23, CE-24, CE-25, CE-26, CE-27, CE-33, CE-34, CE-35, CE-40
11	Modelos físicos o modelos obtenidos con ayuda de software	Se propondrá una serie de trabajos que requieren construir modelos a escala en diferentes materiales o bien construir los modelos con ayuda de software específico. El estudiante lo presenta como modelos o bien como informe de diseño de modelos.	1	10	CG-4, CG-22, CG-26, CG-27, CG-29	CE-19, CE-33, CE-40

Continuación del apéndice 18.

12	Coevaluación	El alumno trabajará de forma individual realizando actividades planteadas por el profesor. La evaluación será realizada entre los compañeros quienes realizan la ponderación tomando como base una rúbrica diseñada por el profesor.	4	5	CG-1, CG-7, CG-10, CG-11, CG-22, CG-23, CG-24, CG-25, CG-26, CG-27, CG-29	CE-1, CE-2, CE-3, CE-4, CE-5, CE-6, CE-7, CE-8, CE-9, CE-11, CE-12, CE-15, CE-19, CE-20, CE-21, CE-22, CE-23, CE-24, CE-25, CE-26, CE-27, CE-33, CE-34, CE-35, CE-40.
13	Autoevaluación	El alumno trabajará de forma individual realizando actividades planteadas por el profesor. Cada estudiante evaluará su propio trabajo colocando una ponderación tomando como base una rúbrica diseñada por el profesor.	4	5	CG-1, CG-7, CG-10, CG-11, CG-22, CG-23, CG-24, CG-25, CG-26, CG-27, CG-29	CE-1, CE-2, CE-3, CE-4, CE-5, CE-6, CE-7, CE-8, CE-9, CE-11, CE-12, CE-15, CE-19, CE-20, CE-21, CE-22, CE-23, CE-24, CE-25, CE-26, CE-27, CE-33, CE-34, CE-35, CE-40.
14	Evaluación Formativa	El profesor realiza una evaluación de naturaleza subjetiva sobre la conducta e integridad del estudiante a través del tiempo. Adicionalmente se harán 1 o más exámenes que den la oportunidad de mejorar la nota obtenido en uno de los examens parciales para conocer si el estudiante aprendió de los errores cometidos en dicho examen parcial.	1	5	CG-1, CG-4, CG-5, CG-7, CG-10, CG-11	

Zona Total

75

Puntos

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 19. Evaluación formativa

Evaluación formativa	Momento de aplicación	Objetivos
Formulación de preguntas sobre el tema a desarrollar	Al comienzo de la clase	Verificar que el estudiante tiene conocimiento previo sobre el tema a desarrollar
		Estimular a los estudiantes que no tienen conocimiento previo sobre el tema a que se concentre y profundice sobre el tema.
Formulación preguntas sobre los temas explicados.	En el transcurso de la clase	Verificar que los estudiantes van entendiendo los puntos explicados.
Prueba corta escrita u oral del tema desarrollado.	Al finalizar la clase	Verificar que el estudiante entendió cada punto explicado en la clase.
		Estimular al estudiante que no entendió a realizar preguntas para reforzar su conocimiento.

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 20. Evaluación formativa subjetiva

Parámetro a evaluar	Malo 0 %	Puede mejorar 50 %	Muy Bueno 80 %	Excelente 100 %
Asistencia a clases	≤50 %	50-80 %	≥80 %	100 %
Participación en clase	No participa en ninguna actividad	Participa en la minoría de actividades	Participa en la mayoría de las actividades	Participa en todas las actividades
Tareas y trabajos	No realiza ninguna tarea y entrega tareas copiadas	Realiza tareas incompletas	Realiza la mayoría de tareas completas.	Realiza todas las tareas completas
Autoevaluación y coevaluación	No realiza la evaluación de forma consiente	-	-	Realiza la evaluación de forma consiente
Actitud en clase	No pone atención y distrae a los alumnos	Se desconcentra en ocasiones	Se distrae en pocas ocasiones	Está completamente concentrado en la clase
Actitud en exámenes parciales	Procura copiar las respuestas de otros alumnos	-	-	Realiza su examen de forma individual confiando en sus conocimientos

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 21. Bibliografía recomendada

Nombre del libro	
<ul style="list-style-type: none"> • BIEGLER, Lorenz T.; GROSSMANN, Ivan E.; WESTERBERG, Arthur W. <i>Systematic methods of chemical process design</i>. N.J., New York: Prentice Hall, 1997. 815 p. 	Bibliografía complementaria
<ul style="list-style-type: none"> • EDGARD, Thomas, HIMMELBLAU, David, LASDON, Leon. <i>Optimization of chemical processes</i>. Boston: McGraw-Hill, 2001. 480 p. 	Bibliografía complementaria
<ul style="list-style-type: none"> • DOUGLAS, James M. <i>Conceptual design of chemical processes</i>. New York: McGraw-Hill, 1988. 312 p. 	Bibliografía complementaria
<ul style="list-style-type: none"> • PUIGJANER, Luis; OLLERO, Pedro; DE PRADA, Cesar; JIMENEZ Lauraneo. <i>Estrategias de modelado, simulación y optimización de procesos químicos</i>. Sinteis, 2006. ISBN: 9788497564045 	Bibliografía básica
<ul style="list-style-type: none"> • SEIDER, Warren; SEADER, Jhon D.; LEWIN, Daniel. <i>Process design principles: synthesis, analysis and evaluation</i>. New York, John Wiley & Sons, 1999. 175 p.. 	Bibliografía complementaria
<ul style="list-style-type: none"> • TURTON, Richard. <i>Analysis, síntesis y diseño de procesos químicos</i>. N.J., New York: Prentice Hall, 2003. 289 p. 	Bibliografía complementaria
<ul style="list-style-type: none"> • SEIDER, Warren. <i>Product and process design principles international student versión</i>. 3a ed. New York: Wiley, 2010. 405 p. 	Bibliografía complementaria

Software

Aspen Hysys V8.0

Fuente: elaboración propia.

