



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Petroquímica

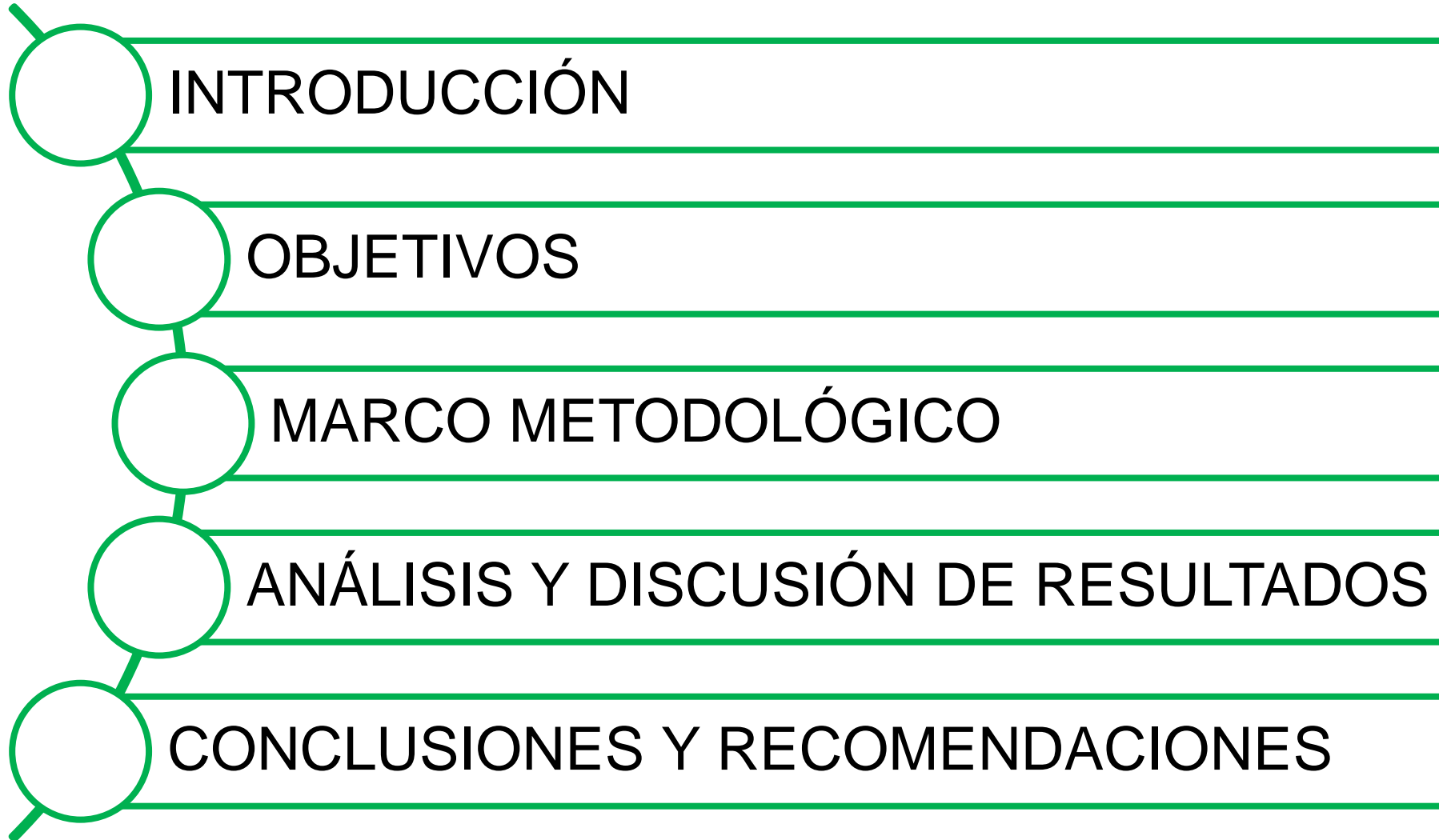
**“PRODUCTOS QUÍMICOS PARA PROCESOS DE
DESTILACIÓN OBTENIDOS MEDIANTE
COMPUTADOR”**

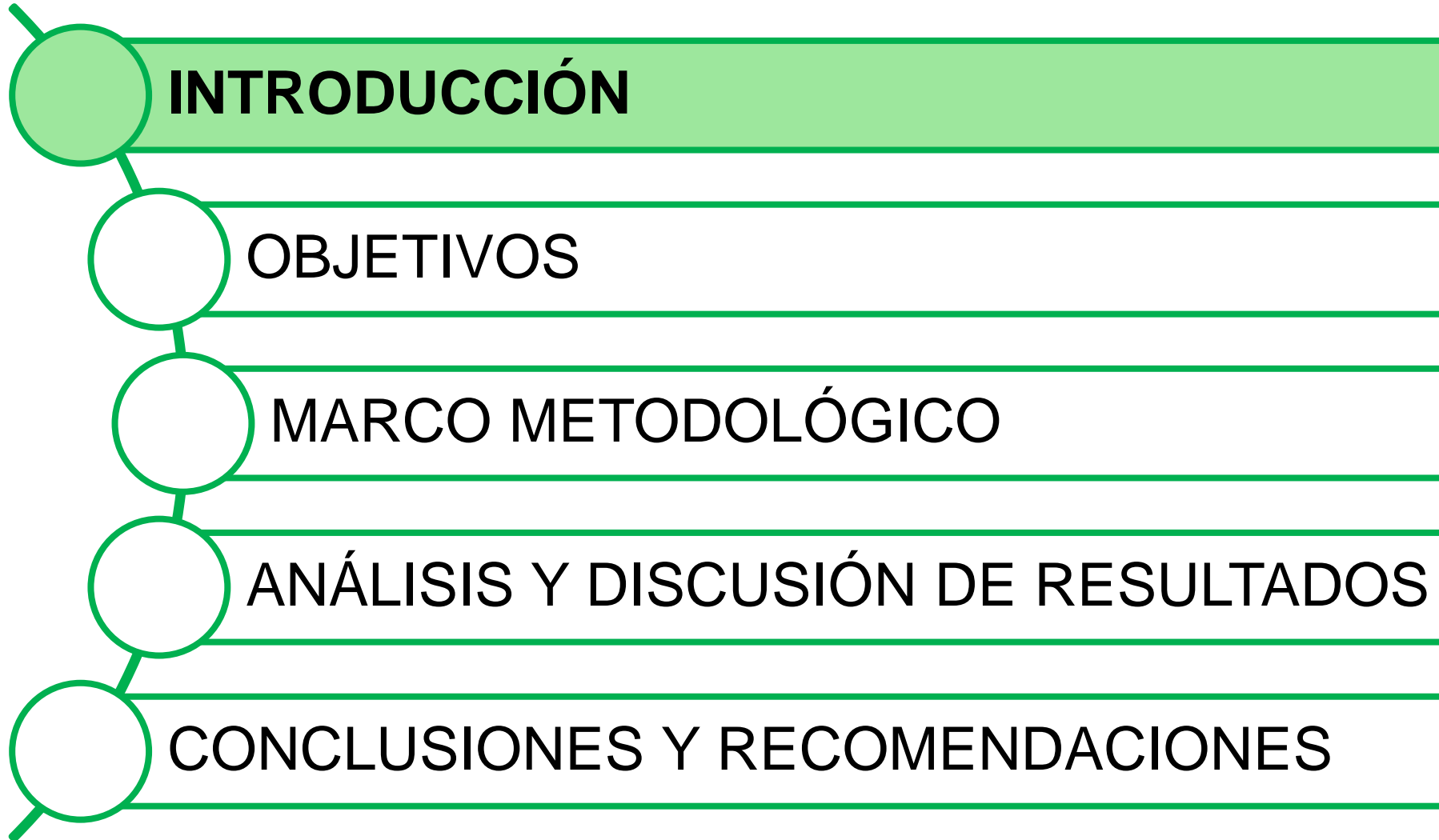
AUTOR: Zumba Sisalima, Betzy Mishel

DIRECTOR: Robalino Cacuango, Milton Javier, M.Sc

VERSIÓN: 1.1

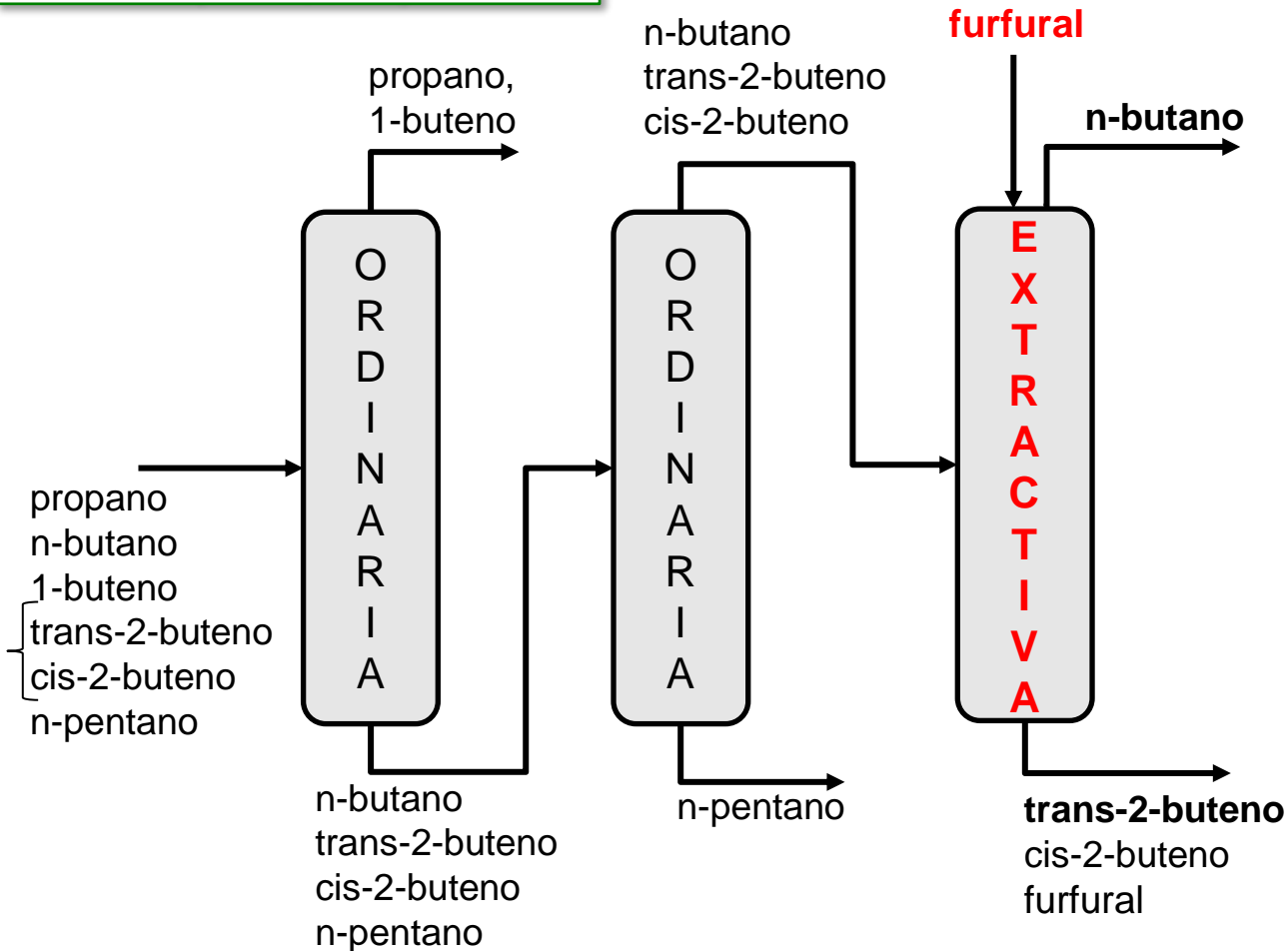






ANTECEDENTES

Sistema de recuperación de butenos
(Seider, 2009)



- El proceso de destilación extractiva se utiliza para la separación del n-butano de trans-2-buteno. El agente separador de masa o MSA es lo esencial de la destilación extractiva.

Destilación ordinaria
 $\alpha = 1,03$

Destilación extractiva
 $\alpha = 1,17$

- Se opta por el desarrollo de productos químicos básicos. Encontrar especies químicas que tengan ciertas propiedades funcionales acorde a la aplicación que se desee dar y mejorar las propiedades funcionales deseables de un sistema.

INTRODUCCIÓN

PROCESO DE DESARROLLO DE PRODUCTOS

- El proceso de desarrollo de productos es un marco operativo para llevar a cabo los proyectos de nuevos productos desde la idea hasta el lanzamiento (Cooper, 2001).

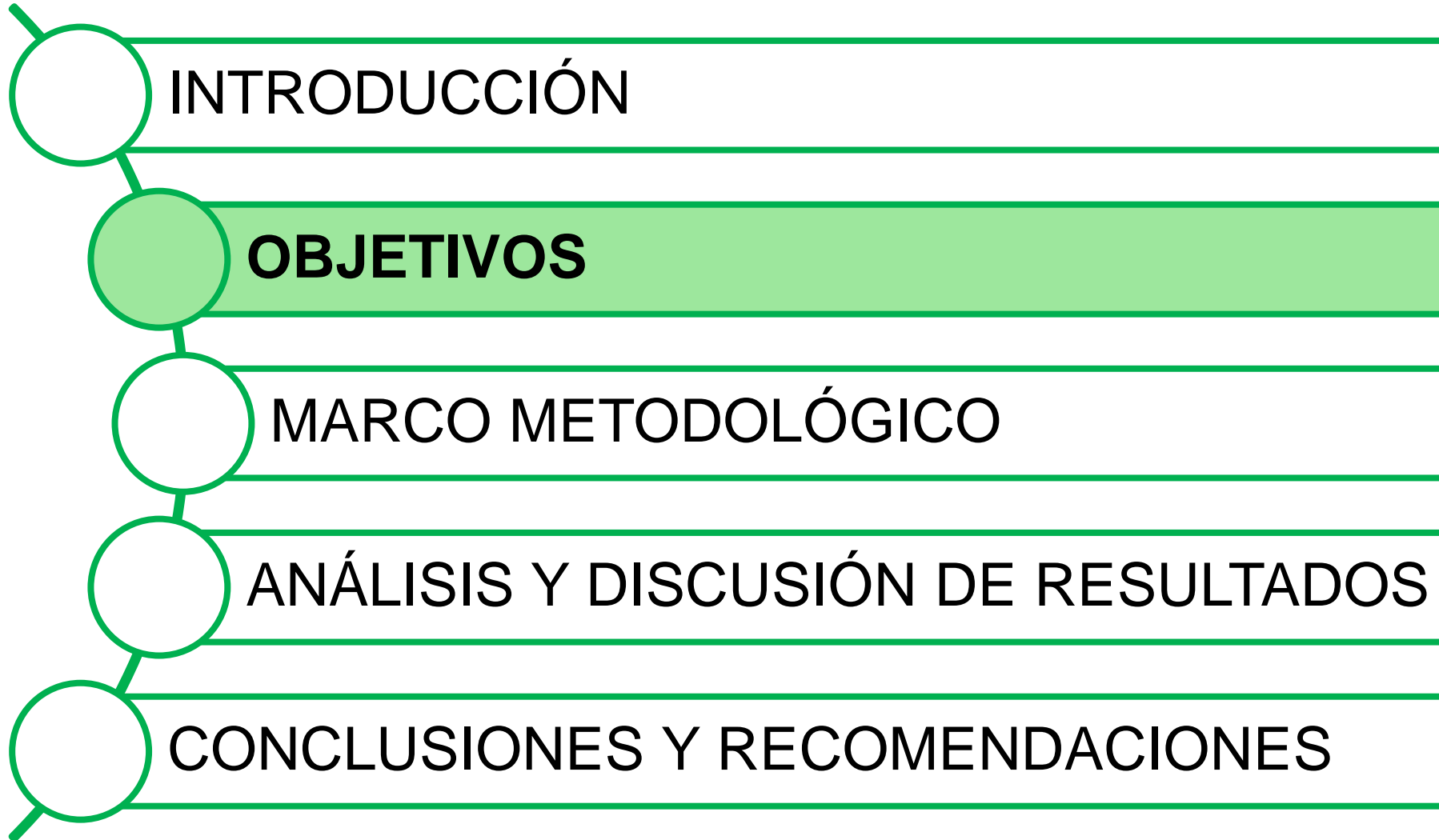
- Identificar las especies químicas con propiedades deseadas para satisfacer las necesidades del proceso.
- Búsqueda y selección de agentes separadores de masa (MSA).

- El proceso de desarrollo de productos está diseñado para reducir los riesgos durante el desarrollo; es decir, aumentar las probabilidades de éxitos.
- Aplicar el mapa de innovación.

INTRODUCCIÓN

MAPA DE INNOVACIÓN

Propuesta de valor al cliente	No tóxico	No inflamable	Especies químicas de bajo costo	Separación mucho más eficiente	
Productos	1,4-Butanodiol Etilenglicol Glicerol 1,2-Propilenglicol				
Diferenciación técnica	Especies líquidas a 37,8 °C y 10,2 atm	Volatilidad relativa mayor a 1,0 y 1,05	Número de platos para la separación menor a 77	Calor del rehevador menor a 52 mJ/h	Reflujo menor a 2460,1 kmol/h
Tecnología del material	MSAs para destilación extractiva	alcoholes, aldehídos, aminas y amidas	Masa molecular menor a 100 g/mol		



OBJETIVOS

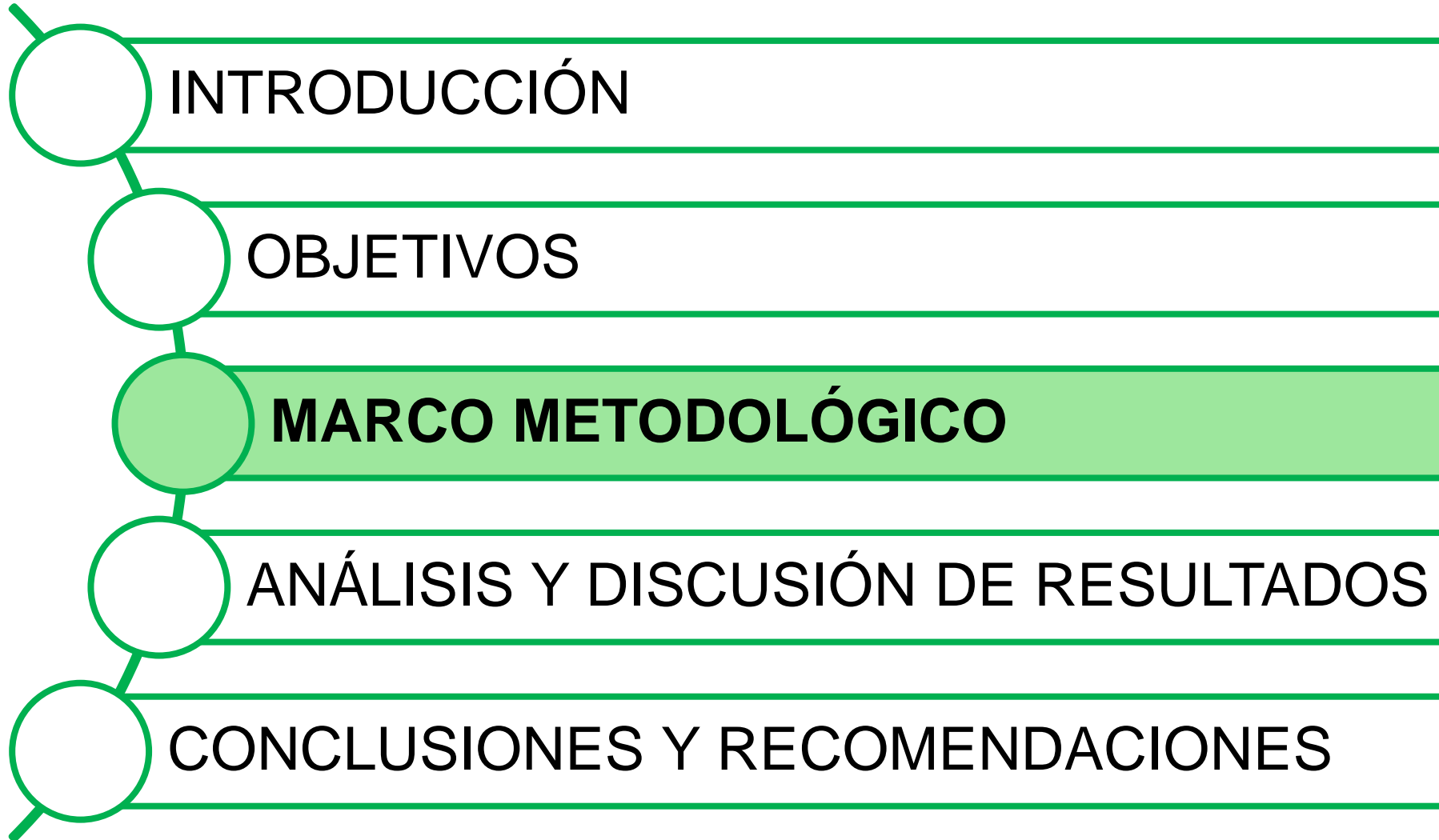
OBJETIVO GENERAL

Obtener productos químicos para ser empleados como Agentes Separadores de Masa.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

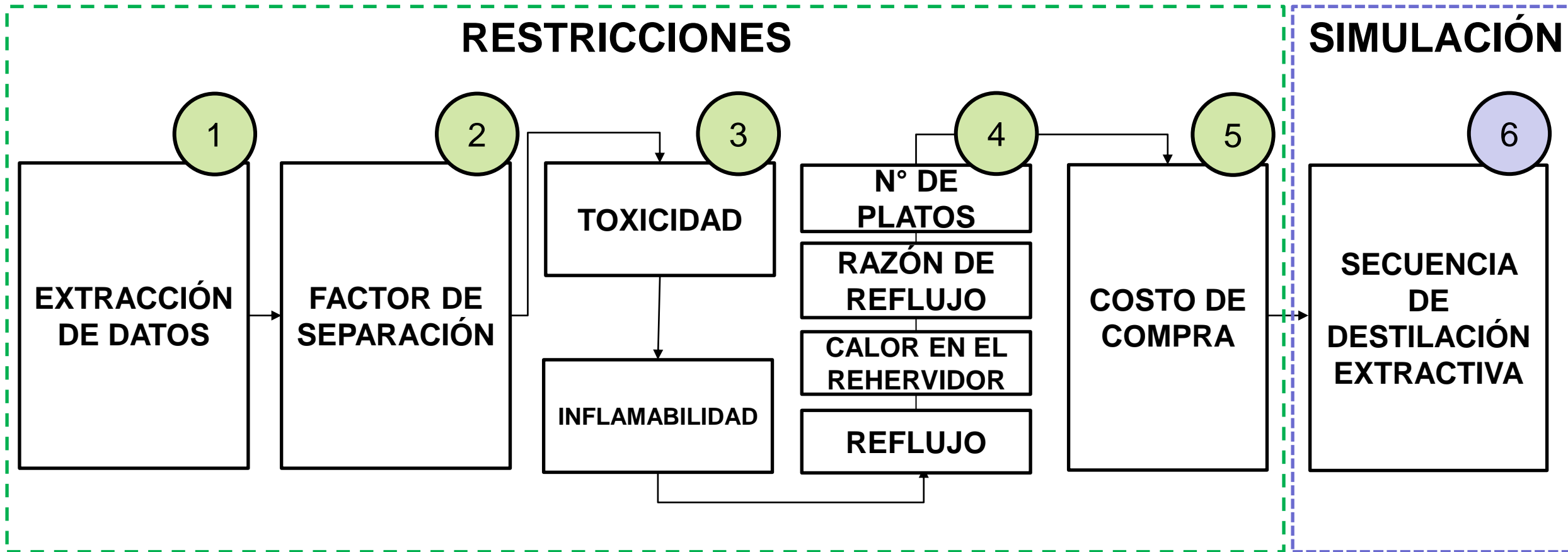
- Colectar información relacionada sobre el grado actual de desarrollo del tema.
- Revisión bibliográfica de la síntesis de trenes de separación y destilación extractiva.
- Colectar información sobre la destilación extractiva de la mezcla n-butano y trans-2-buteno empleando furfural como agente separador de masa.
- Aplicar el proceso de desarrollo de productos para establecer restricciones de búsqueda y selección.
- Buscar especies químicas usando una base de datos.
- Emplear el software PRO/II para identificar agentes separadores de masa.
- Evaluar el factor de separación, toxicidad, inflamabilidad, número de platos, razón de reflujo, calor en el rehervidor, reflujo, y costo de agentes separadores de masa.





MARCO METODOLÓGICO

PASOS A SEGUIR



MARCO METODOLÓGICO

EXTRACCIÓN DE DATOS

Componentes de la base de datos de PRO/II con masa molecular menor a 100 g/mol y que son alcoholes, aldehídos, aminas y amidas (Seader et al., 2010).

Fase líquida a una temperatura de 37,8 °C y presión de 10,2 atm (Seider et al., 2009)

Figura 1
Componentes en PRO/II.

Component Full Name:	SIMSCI Name/Alias:	Formula:	CAS Number:
(1.alpha.,2.alpha.,3.beta.)-1,2,3-Trimet	TCCP	C8H16	15890-40-1
Abietic Acid	ABIETIC	C20H30O2	514-10-3
Acenaphthene	ACENAP	C12H10	83-32-9
Acenaphthylene	ACENAPHT	C12H8	208-96-8
Acetal	ACETAL	C6H14O2	105-57-7
Acetaldehyde	ACETALD	C2H4O	75-07-0
Acetaldol	ACETALDL	C4H8O2	107-89-1
Acetamide	ACTAMIDE	C2H5NO	60-35-5
Acetaminophen	TYLENOL	C8H9NO2	103-90-2
Acetanilide	ACTANLD	C8H9NO	103-84-4
Acetic Acid	ACETIC	C2H4O2	64-19-7
Acetic Anhydride	AC2O	C4H6O3	108-24-7
Acetoacetanilide	ACEACEAN	C10H11NO2	102-01-2
2-Acetoacetoxy Ethyl Methacrylate	2ACACEEM	C10H14O5	21282-97-3
Acetol	ACETOL	C3H6O2	116-09-6

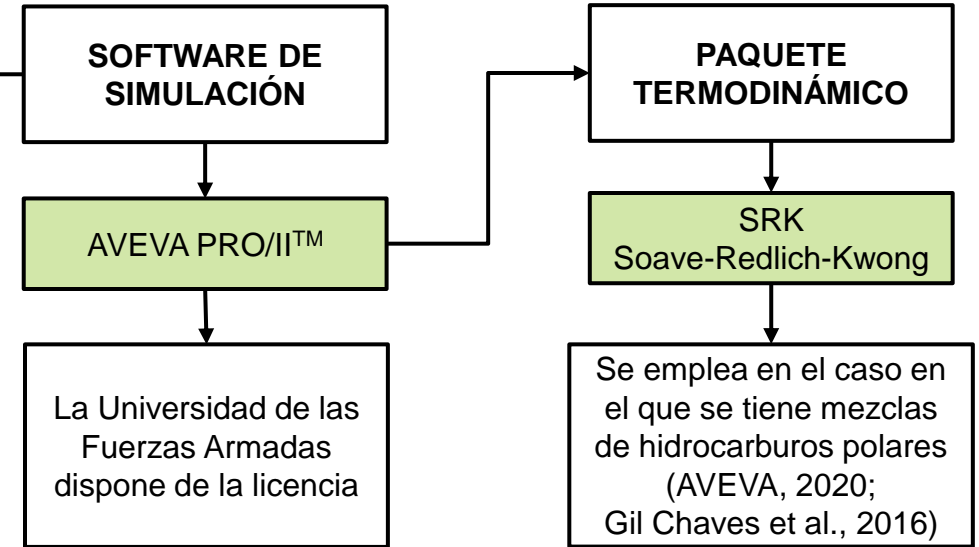
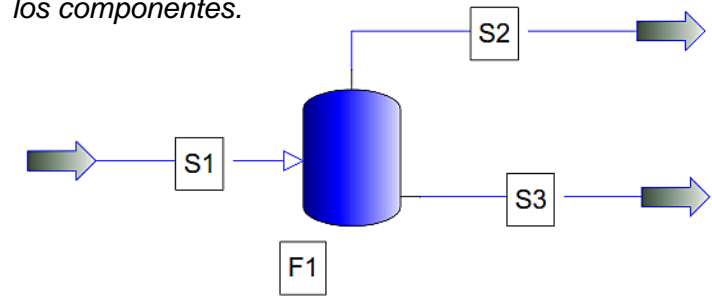
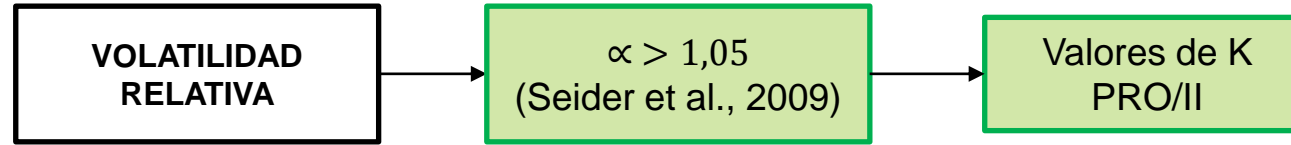


Figura 2
Determinación de la fase de los componentes.



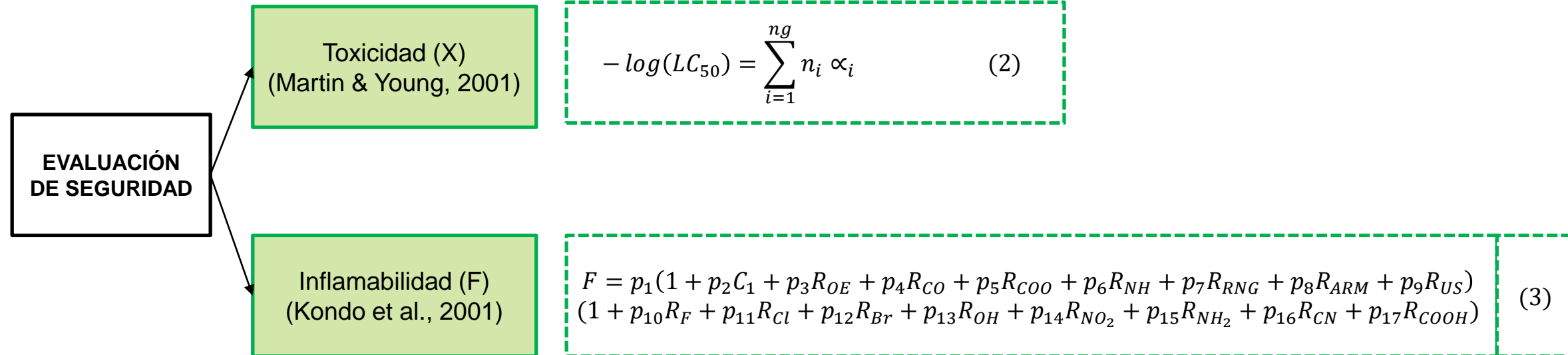
MARCO METODOLÓGICO

FACTOR DE SEPARACIÓN



$$SF = \frac{K_1}{K_2} = \alpha_{1,2} \quad (1)$$

TOXICIDAD E INFLAMABILIDAD



R
E
S
T
R
I
C
C
I
O
N
E
S

MARCO METODOLÓGICO

DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE PLATOS (N), RAZÓN DE REFLUJO (R), CALOR EN EL REHERVIDOR (Q) Y REFLUJO (L)

RESTRICCIONES

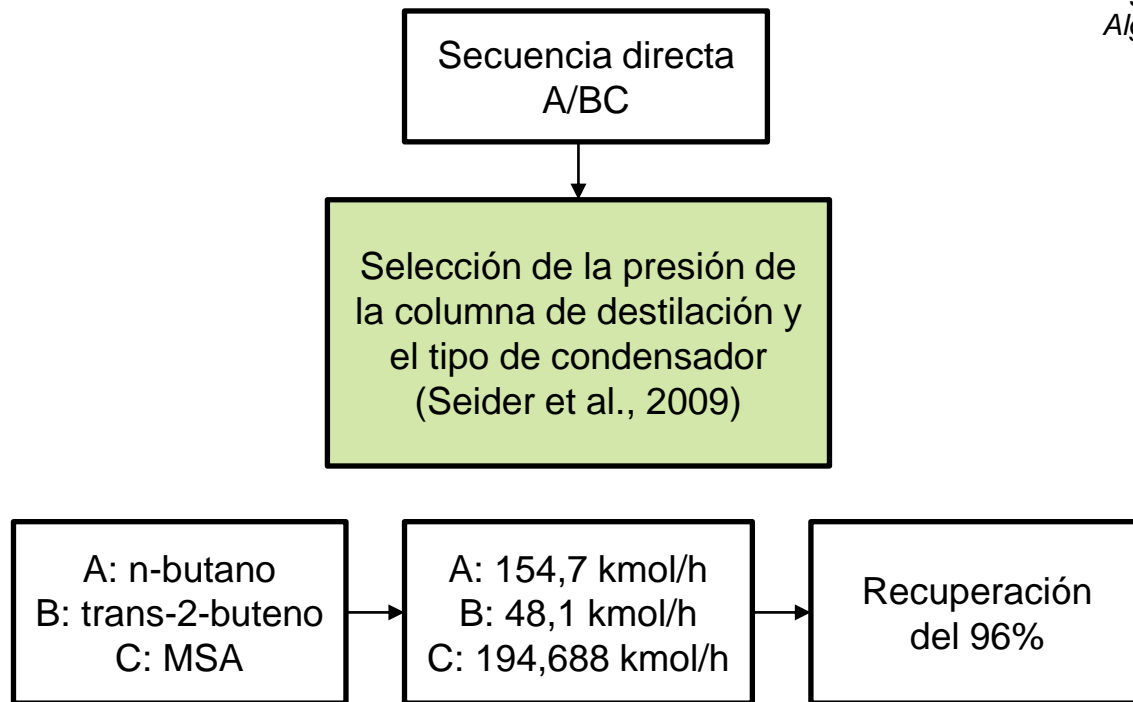
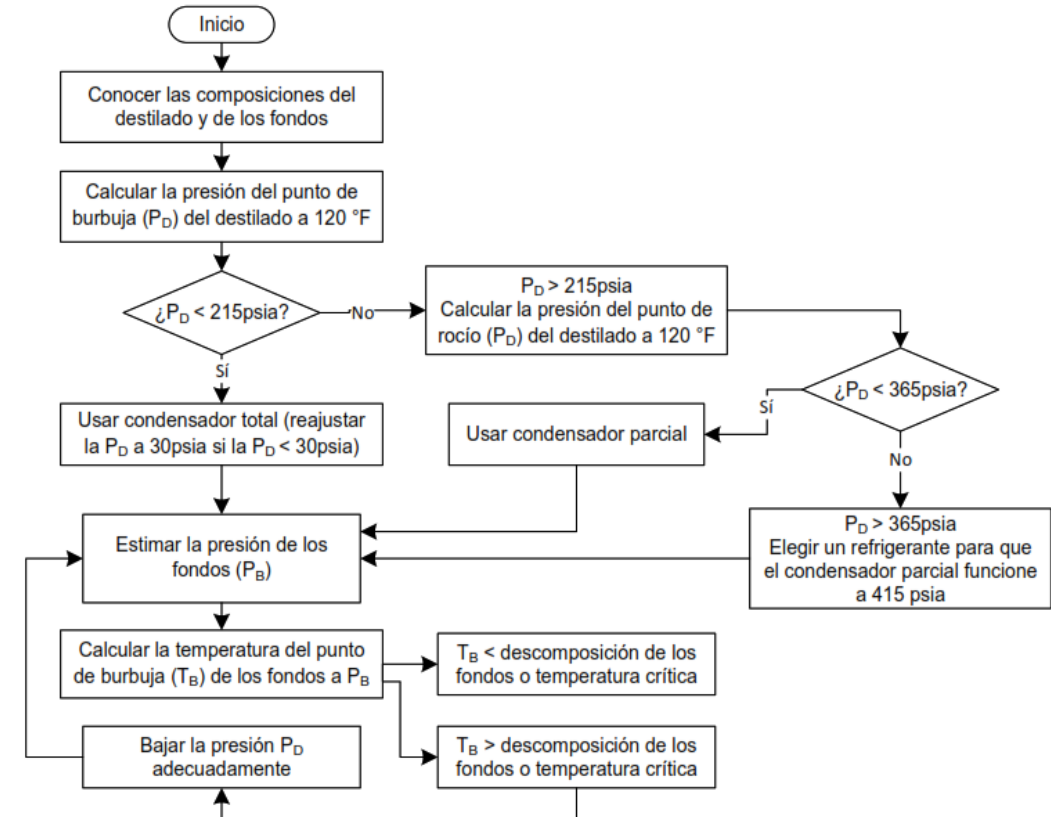


Figura 3

Algoritmo para establecer la presión de la columna de destilación y el tipo de condensador.



Nota. Recuperado de Product and Process Design Principles: Synthesis, Analysis and Evaluation (3ra ed.) (p. 216), por Seider et al., (2009).



MARCO METODOLÓGICO

DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE PLATOS (N), RAZÓN DE REFLUJO (R), CALOR EN EL REHERVIDOR (Q) Y REFLUJO (L)

Figura 4

Empleo del algoritmo para establecer la presión de la columna de destilación y el tipo de condensador en Microsoft Excel.

Representación	Especie Química	Flujo molar (kmol/h)							
A	N-BUTANO	154,7							
B	TRANS-2-BUTENO	48,1							
C	FURFURAL	194,688							
	Total	397,488							
	Recuperación	0,96							
		0,04							
Separación	Destilado (kmol/h)	Pebullición= Pcondensador(kPa)	Pebullición= Pcondensador(psia)	Phervidor (kPa)	Pfeed (kPa)	Rmin	R=1,2Rmin	Destilado D(kmol/h)	
A/BC	148,512	485,560	70,444	555,560	520,560	14,853	17,8240267	150,436	
	1,924								
Total	150,436								

$$P_{alimentación} = P_{condensador} + 35 \text{ kPa} \quad (4)$$

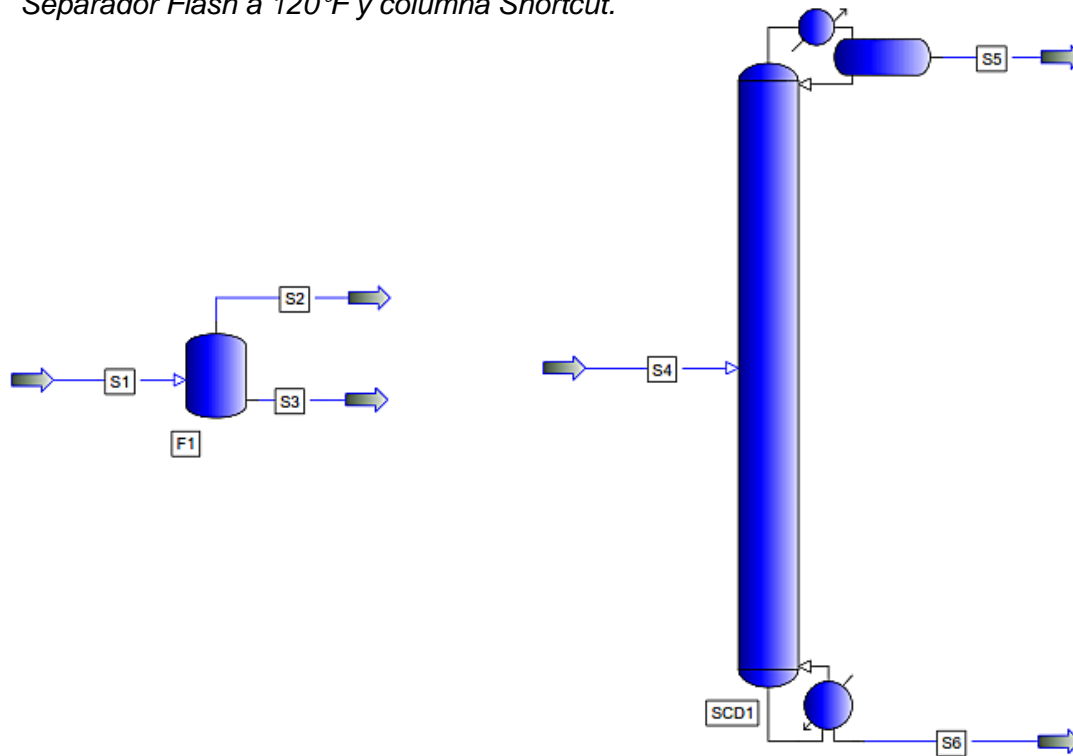
$$P_{rehervidor} = P_{condensador} + 70 \text{ kPa} \quad (5)$$

MARCO METODOLÓGICO

DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE PLATOS (N), RAZÓN DE REFLUJO (R), CALOR EN EL REHERVIDOR (Q) Y REFLUJO (L)

R
E
S
T
R
I
C
C
I
O
N
E
S

Figura 5
Separador Flash a 120°F y columna Shortcut.



Reflujo
(Treybal, 1988)

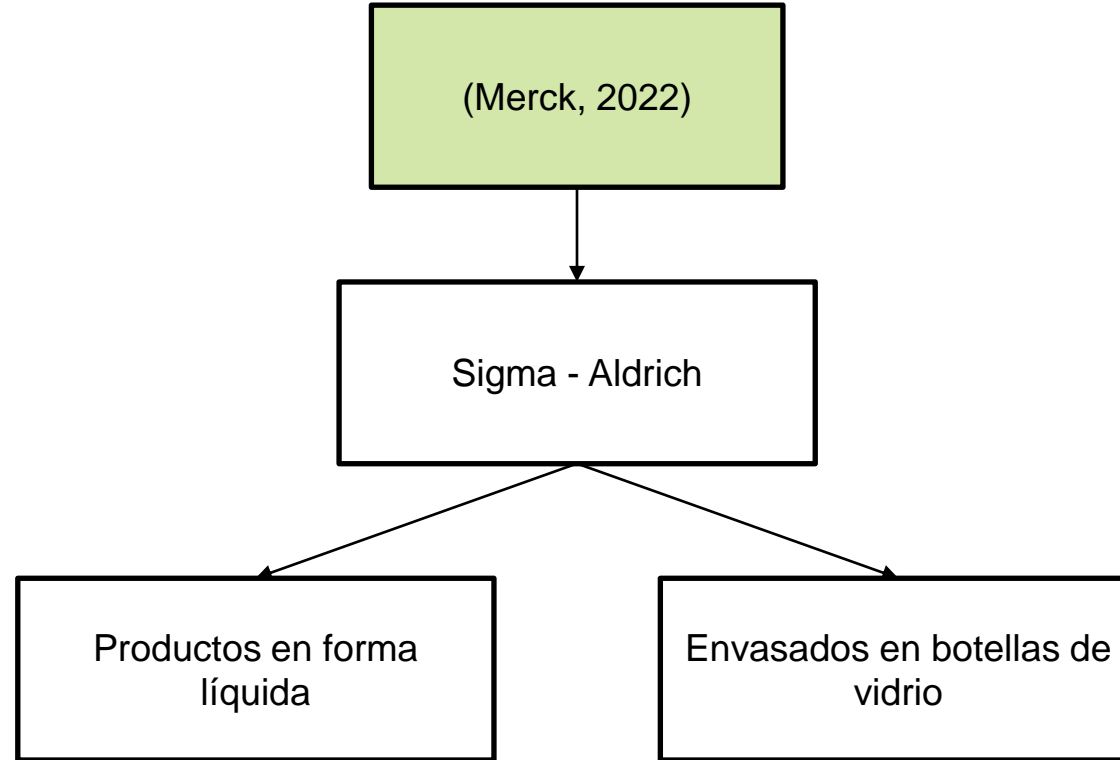
$$R = \frac{L}{D} \quad (6)$$

R: Razón de reflujo

L: Reflujo

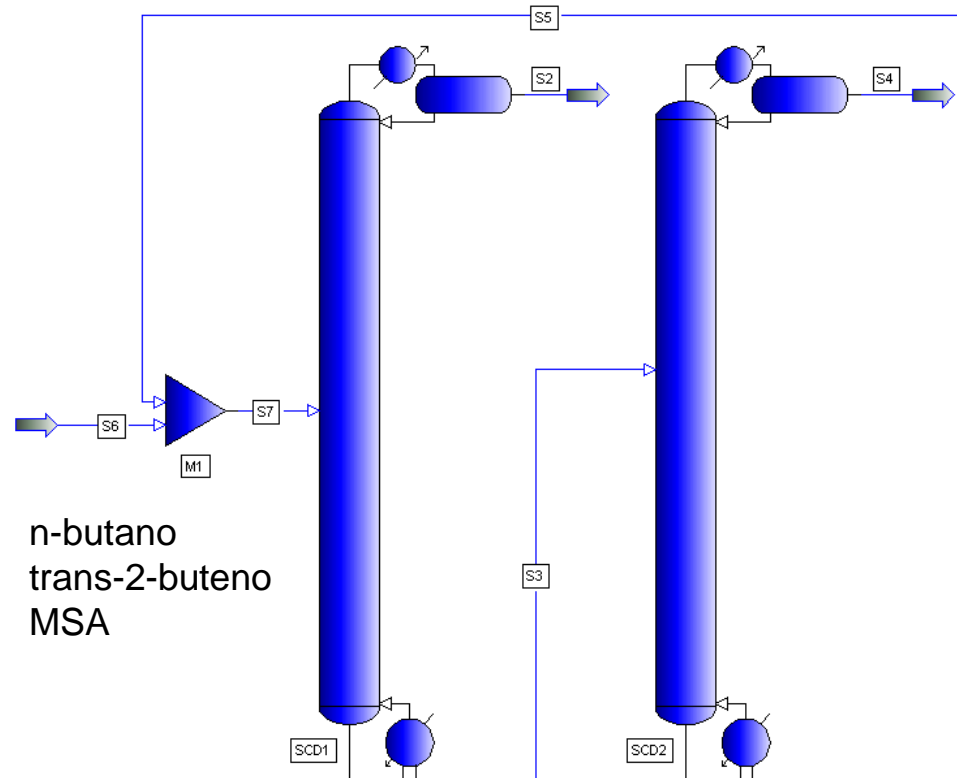
D: Destilado, liquido con el componente más volátil. El valor del destilado es 150,4360 kmol/h.

COSTOS DE LAS ESPECIES QUÍMICAS



SECUENCIA DE DESTILACIÓN EXTRACTIVA

Figura 6
Proceso de destilación extractiva.



(Seider et al., 2009)

Columna 1
"SCD1"

Columna 2
"SCD2"

Figura 7
Especificaciones de las dos columnas Shortcut.

ShortCut Distillation - Minimum Reflux

UOM Range Help Overview

Perform Minimum Reflux Calculation

Minimum Reflux Calculations:

Light Key: BUTANE

Heavy Key: T2BUTENE

Ratio to Minimum:

Reflux: 1.2

Trays:

OK to PFD OK Cancel Cancel to PFD

ShortCut Distillation - Minimum Reflux

UOM Range Help Overview

Perform Minimum Reflux Calculation

Minimum Reflux Calculations:

Light Key: T2BUTENE

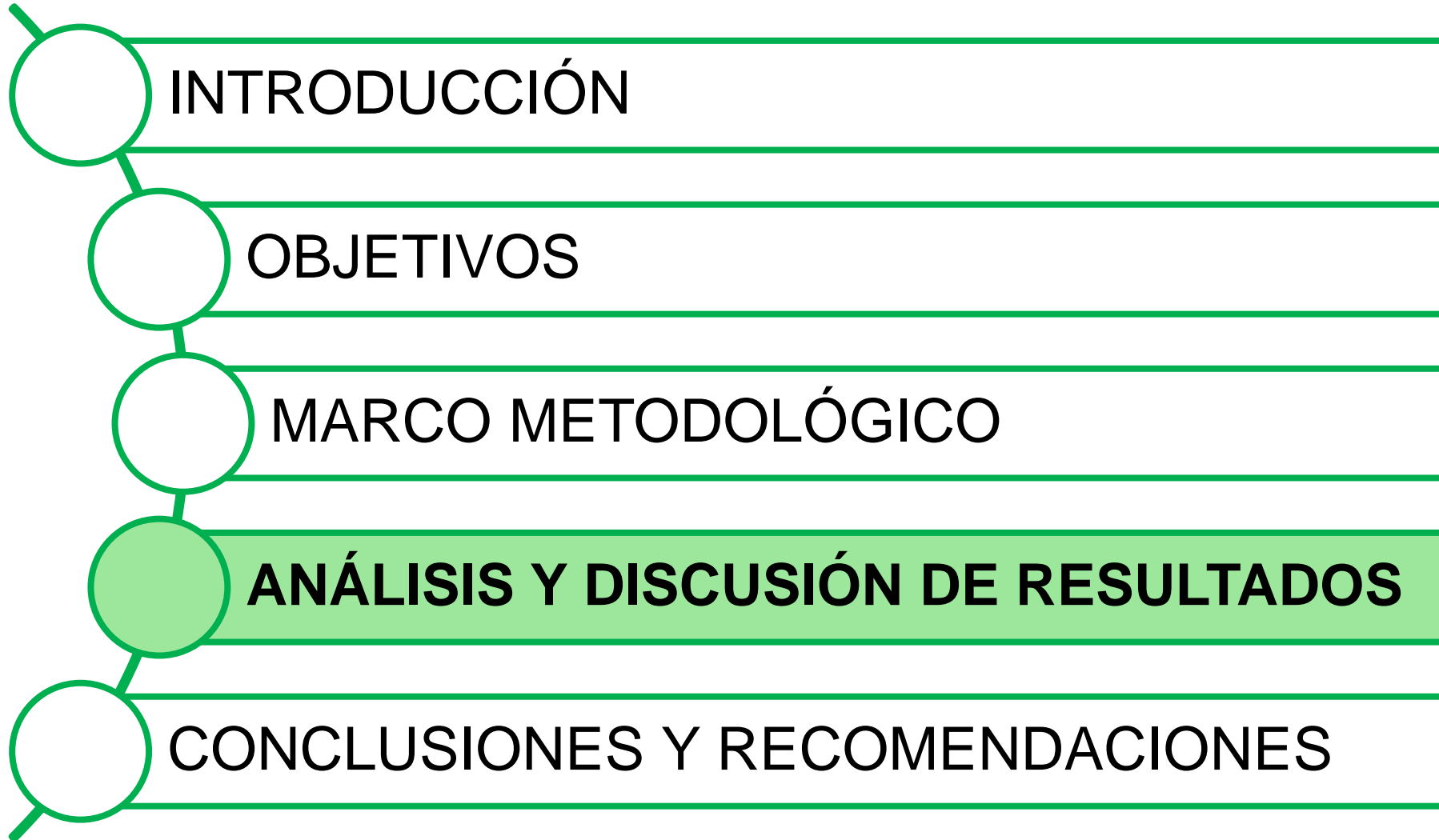
Heavy Key: FURFURAL

Ratio to Minimum:

Reflux: 1.2

Trays:

OK to PFD OK Cancel Cancel to PFD



ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

EXTRACCIÓN DE DATOS

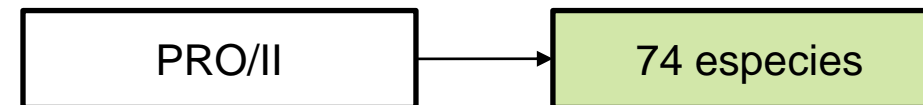
Tabla 1
Componentes de la base de datos de PRO/II con masa molecular menor a 100 g/mol, en fase líquida a 37,8 °C y 10,2 atm, y que son alcoholes, aldehídos, aminas o amidas..

Componente	Masa Molecular (g/mol)
1 Acetaldehído	44,05
2 trans-Crotonaldehído	70,08
3 Formaldehído	30,02
4 Furfural	96,08
5 Glioxal	58,03
6 Isobutiraldehído	72,1
7 Metacroleína	70,08
8 Pentanal	86,13
9 trans-2-pentenal	84,11
10 Acetamida	59,06
11 Acrilamida	71,07
12 n,n-Dimetilacetamida	87,12
13 n,n-Dimetilformamida	73,09
14 Formamida	45,04
15 n-Metilacetamida	73,09
16 n-Metilformamida	59,06
17 Acetol	74,07
18 Alcohol Alílico	58,07

19 1-Amino-2-Propanol	75,1
20 3-Amino-1-Propanol	75,1
21 1,2-Butanodiol	90,12
22 1,3-Butanodiol	90,12
23 1,4-Butanodiol	90,12
24 2,3-Butanodiol	90,12
25 1-Butanol	74,12
26 2-Butanol	74,12
27 cis-2-Buteno-1,4-diol	88,1
28 2-Cloroetanol	80,51
29 Ciclopentanol	86,13
30 Dimetiletanolamina	89,13
31 2,2-Dimetil-1-Propanol	88,14
32 2,3-Epoxi-1-Propanol	74,07
33 Etanol	46,06
34 2-Etoxi-etanol	90,12
35 Etilenglicol	62,06
36 Alcohol Furfurílico	98,09

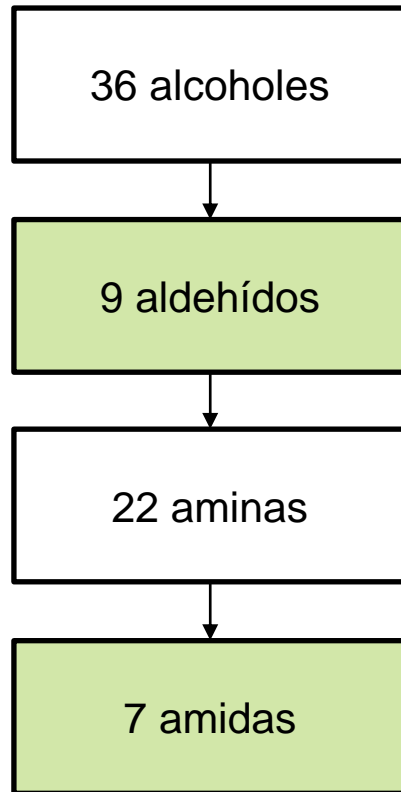
37 Glicerol	92,09
38 Isopropanol	60,09
39 Metanol	32,04
40 2-Metoxietanol	76,09
41 2-Metoxi-1-Propanol	90,12
42 2-Metil-1-Butanol	88,14
43 2-Metil-2-Butanol	88,14
44 3-Metil-1-Butanol	88,14
45 3-Metil-2-Butanol	88,14
46 Metiletanolamina	75,1
47 2-Metil-1-Propanol	74,12
48 1-Pentanol	88,14
49 2-Pentanol	88,14
50 3-Pentanol	88,14
51 1-Propanol	60,09
52 Alcohol Propargílico	56,06
53 1,2-Propilenglicol	76,09
54 1,3-Propilenglicol	76,09

55 Alilamina	57,09
56 Anilina	93,12
57 n-Butilamina	73,13
58 sec-Butilamina	73,13
59 ter-Butilamina	73,13
60 Ciclohexilamina	99,17
61 Ciclopentilamina	85,14
62 Dialilamina	97,15
63 Dietilamina	73,13
64 Dimetilamina	45,08
65 Etanolamina	61,08
66 Etilamina	45,08
67 Isobutilamina	73,13
68 Isopropilamina	59,11
69 Metilamina	31,05
70 Morfolina	87,12
71 n-Pentilamina	87,16
72 Piperazina	86,13
73 1,2-Propanodiamina	74,12
74 n-Propilamina	59,11



ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

EXTRACCIÓN DE DATOS



(Seader et al., 2010)

Figura 8

Separador Flash en PRO/II.

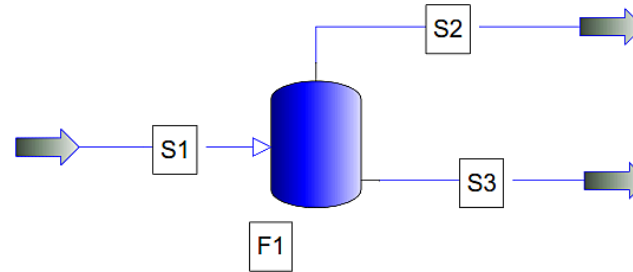


Tabla 2

Tabla de propiedades de los componentes..

Nombre de la corriente	S1	S3
Temperatura (°C)	37,8	37,8
Presión (atm)	10,2	10,2
Flujo (kgmol/h)	1	1
Sistema termodinámico	SRK	SRK
Composición acetaldehído	1	1
Fase a 37,8°C y 10,2 atm	Líquido	Líquido

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

FACTOR DE SEPARACIÓN

Figura 9

Tabla de Valores de K obtenidos de PRO/II para la mezcla n-butano y trans-2-buteno y el furfural como MSA

```

SIMSCI          R
PROJECT         PRO/II PROCESS ENGINEERING 10.2 (64 bit)
PROBLEM        OUTPUT
               FLASH DRUM SUMMARY
=====
FLASH ID       F1
NAME
FEEDS          S1
PRODUCTS VAPOR S2
             LIQUID S3

TEMPERATURE, C 37.800
PRESSURE, ATM   10.200
PRESSURE DROP, ATM 0.000
MOLE FRAC VAPOR 0.00000
MOLE FRAC LIQUID 1.00000
MOLE FRAC MW SOLID 0.00000
DUTY, M*KCAL/HR 0.00000
FLASH TYPE     ISOTHERMAL

VAPOR-LIQUID COMPOSITIONS AND K-VALUES FOR UNIT 1, 'F1'
-----
COMPONENT      VAPOR (1)    LIQUID       K-VALUE
-----
1 BUTANE       0.17923     0.33333     5.3770E-01
2 T2BUTENE    0.15798     0.33333     4.7393E-01
3 FURFURAL    6.9330E-04  0.33333     2.0799E-03
    
```

(1) SUBCOOLED LIQUID, VAPOR SUM NOT EQUAL 1.0

$$\alpha_{1,2} = \frac{0,53770}{0,47393} = 1,1345557 \quad (7)$$

Tabla 3

Volatilidad relativa (α) de las especies químicas candidatas a MSA.

	Componente	α
	Mezcla n-butano y trans-2-buteno	
	n-Butano y trans-2-buteno	1,0420
	Furfural	1,1346
1	1,4-Butanodiol	1,2202
2	Etilenglicol	1,1889
3	Glicerol	1,2421
4	1,2-Propilenglicol	1,2029

$\alpha > 1,05$
(Seider et al., 2009)

TOXICIDAD E INFLAMABILIDAD

Tabla 4

Valores de toxicidad (X) e inflamabilidad (F) de las especies químicas candidatas a MSA.

Componente	X	F
Mezcla n-butano y trans-2-buteno		
Furfural	3,467	0,732
1,4-Butanodiol	1,361	0,614
Etilenglicol	0,468	0,628
Glicerol	0,408	0,643
1,2-Propilenglicol	0,791	0,622

Toxicidad (X)
(Martin & Young, 2001)

“fuertemente
inflamable”
F entre 0,6 y 0,8

(Kondo et al., 2001)

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

NÚMERO DE PLATOS (N), RAZÓN DE REFLUJO (R), CALOR EN EL REHERVIDOR (Q) Y REFLUJO (L)

Figura 10

Valores del número de platos, razón de reflujo y calor del rehervidor obtenidos de PRO/II para la mezcla n-butano y trans-2-buteno y el furfural como MSA.

```

Shortcut Column 'SCD1'
<PRE>
FEEDS
-----
STREAM      PHASE
-----
S4          LIQUID
PRODUCTS

-----
TOTAL STREAM RATES -----
STREAM + PHASE  MOLES      WEIGHT      LIQUID VOL  NORM VAPOR(1)  NUM
                  KG-MOL/HR  KG/HR       M3/HR       M3/HR          SECTION TRAYS
-----
S5             L      150.44     8739.98     14.95       3371.87        1   39.05
S6             L      247.05     21657.34    20.92       5537.47
-----
TOTALS          397.49     30397.32    35.87       8909.34        39.05
SPECIFICATIONS

PARAMETER      COMP.  SPECIFICATION  SPECIFIED  CALCULATED
TYPE           NUM    TYPE           VALUE      VALUE
-----
STRM S5        1- 2  MOL RATE      1.504E+02  1.504E+02
STRM S6        1     MOL RATE      6.188E+00  6.184E+00
SUMMARY OF UNDERWOOD CALCULATIONS
MINIMUM REFLUX RATIO  13.62756
FEED CONDITION Q      1.00000
FENSKE MINIMUM TRAYS 39.05199
OPERATING REFLUX RATIO 1.20 * R-MINIMUM

TOTAL  FEED  R/R-MIN  M/M-MIN  REFLUX  DUTY, M*KJ/HR
TRAYS  TRAY  -----  -----  RATIO   CONDENSER  REBOILER
-----
88  46.88  1.100  2.245  14.990  -4.734E+01  4.794E+01
82  43.59  1.150  2.088  15.672  -4.935E+01  4.996E+01
77  40.94  1.200  1.961  16.353  -5.137E+01  5.198E+01
72  38.76  1.250  1.856  17.034  -5.339E+01  5.399E+01
69  36.93  1.300  1.769  17.716  -5.540E+01  5.601E+01
    
```

TOTAL TRAYS	FEED TRAY	R/R-MIN	M/M-MIN	REFLUX RATIO	DUTY, M*KJ/HR CONDENSER	DUTY, M*KJ/HR REBOILER
88	46.88	1.100	2.245	14.990	-4.734E+01	4.794E+01
82	43.59	1.150	2.088	15.672	-4.935E+01	4.996E+01
77	40.94	1.200	1.961	16.353	-5.137E+01	5.198E+01
72	38.76	1.250	1.856	17.034	-5.339E+01	5.399E+01
69	36.93	1.300	1.769	17.716	-5.540E+01	5.601E+01

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

NÚMERO DE PLATOS (N), RAZÓN DE REFLUJO (R), CALOR EN EL REHERVIDOR (Q) Y REFLUJO (L)

(Luyben., 2013)

Tabla 5

Número de platos N, razón de reflujo R, calor en el rehervidor Q y reflujo L para la mezcla sin MSA y para la mezcla en función de las especies candidatas a MSA.

Componente	N	R	Q _r (m ³ J/h)	L (kmol/h)
Mezcla n-butano y trans-2-buteno				
Furfural	77	16,4	52	2460,1
1,4-Butanodiol	26	5,5	18,2	829,2
Etilenglicol	20	4	12,8	599,6
Glicerol	17	3,1	10,1	462,1
1,2-Propilenglicol	19	4,1	12,4	610,9

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

COSTO DE LAS ESPECIES QUÍMICAS

(Merck, 2022)

Tabla 6

Costo de las especies químicas candidatas a MSA.

Componente	Costo Merck
Mezcla n-butano y trans-2-buteno	
Furfural ^a	\$127,20 x 1L
1,4-Butanodiol	\$38,80 x 1 L
Etilenglicol	\$100,00 x 1 L
Glicerol	\$68,50 x 1 L
1,2-Propilenglicol ^b	\$81,16 x 1 L

^a costo por litro determinado en función de \$63.60 x 500 ml.

^b costo por litro determinado en función de \$84,10 x 1 Kg ($\rho = 1,036 \text{ g/cm}^3$).

1,4-Butanodiol
Etilenglicol
Glicerol
1,2-Propilenglicol < Furfural

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

SIMULACIÓN DE LA DESTILACIÓN EXTRACTIVA

Figura 11

Separación de la mezcla n-butano y trans-2-buteno con glicerol.

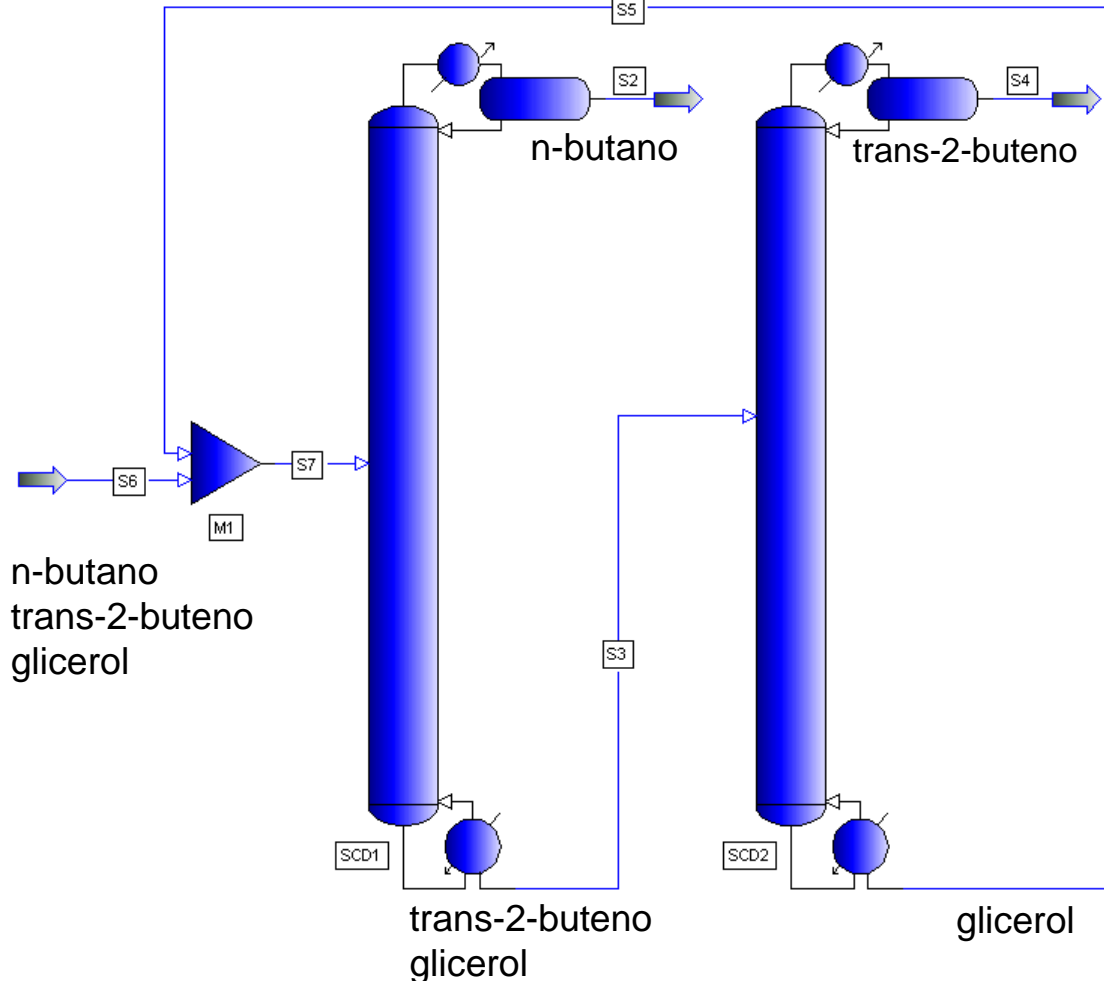
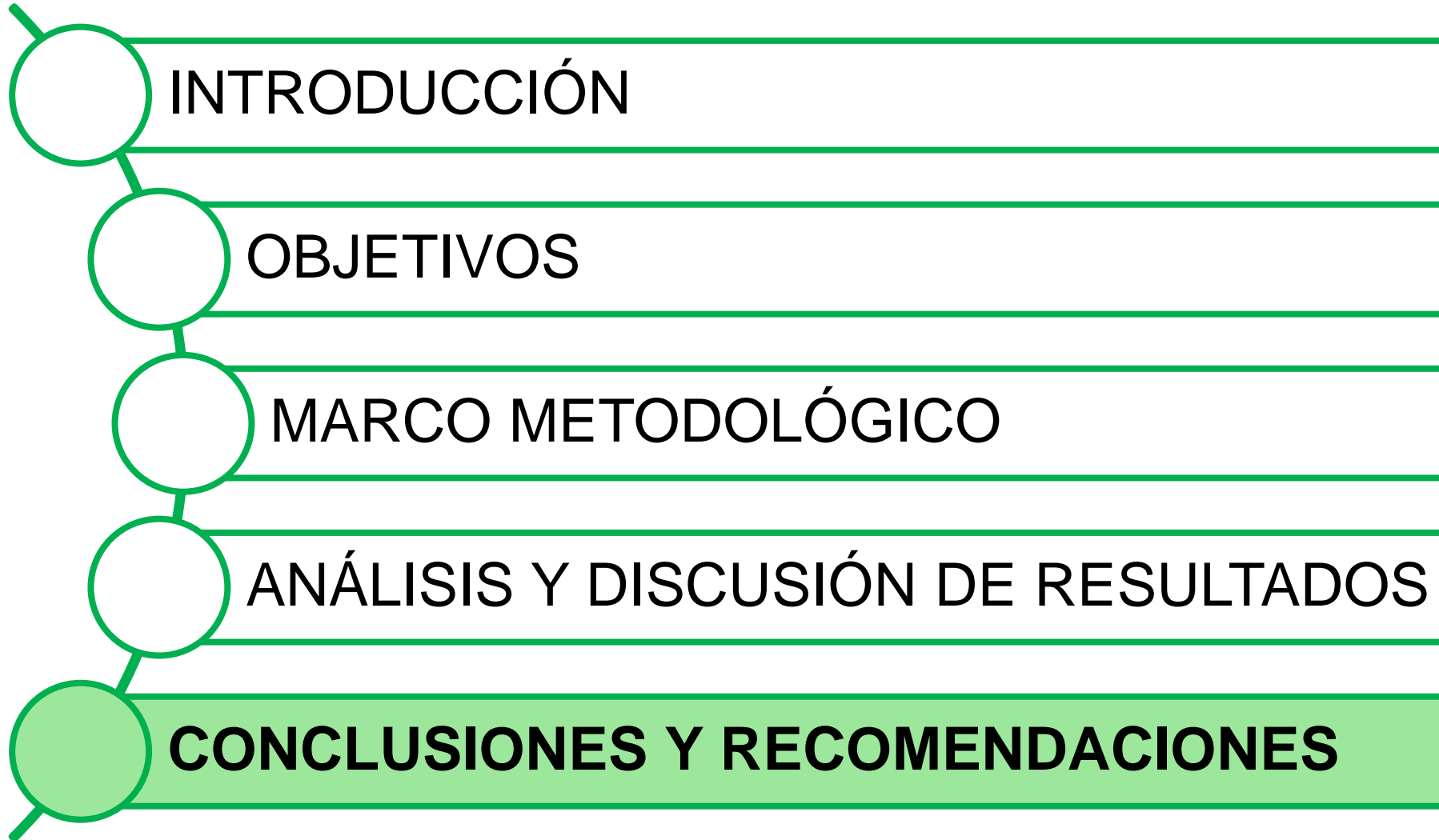


Tabla 7

Resultados de la separación de la mezcla n-butano y trans-2-buteno con 1,4-butanodiol como agente separador de masa..

Nombre de la corriente	S2	S3	S4	S5	S6	S7
Fase	Líquido	Líquido	Líquido	Líquido	Líquido	Líquido
Temperatura (°F)	124,758	201,879	134,925	426,609	127,799	203,320
Presión (kPa)	520,560	520,560	520,560	530,560	520,560	520,560
Flujo (kg mol/h)	150,436	247,053	58,095	188,958	208,530	397,489
Composición n-butano	0,987	0,025	0,103	0,001	0,741	0,389
Composición trans-2-buteno	0,013	0,187	0,763	0,010	0,222	0,121
Composición glicerol	0	0,788	0,134	0,989	0,037	0,490



CONCLUSIONES

- La aplicación del marco de proceso de desarrollo de productos establece que las restricciones de búsqueda y selección de especies planteadas en este trabajo suponen una contribución a los criterios ya existentes.
- Se encontró especies candidatas que obtuvieron mejores resultados como agentes separadores de masa que la reportada en la literatura, de las 74 especies analizadas el glicerol es el más factible.
- La volatilidad relativa del 1,4-butanodiol, etilenglicol, glicerol, 1,2-propilenglicol señala que las especies promoverán una separación más fácil que la del furfural con valores mayores a 1,05 de factor de separación, con valores de 1,2202, 1,1889, 1,2421 y 1,2029 respectivamente.

CONCLUSIONES

- La evaluación de toxicidad e inflamabilidad muestra que las especies estudiadas son menos tóxicas e inflamables que el furfural. Con valores para el glicerol como agente separador de masa destacado de 0,408 de toxicidad e inflamabilidad de 0,643.
- El costo de compra de las especies candidatas resultó ser menor que el costo de la especie reportada en la literatura, siendo el glicerol \$58,70 menos costoso que el furfural.
- El sistema de separación simulado arrojó óptimos resultados de las especies estudiadas. Con 17 platos, 3,1 de razón de reflujo, 462,1 kmol/h de reflujo, 10,1 mJ/h de calor que fluye en el rehervidor y facilidad de recuperación 0,989 de composición para el glicerol.

RECOMENDACIONES

- Sería conveniente analizar las restricciones de búsqueda y selección presentadas en muestras o bases de datos más representativas.
- Se propone realizar una prueba piloto de la separación de las especies químicas.
- Evaluar la mezcla con el agente separador obtenido bajo condiciones experimentales con el fin de comparar los resultados con las propiedades teóricas presentadas.

BIBLIOGRAFÍA

Albright, L. (2009). *Albright's chemical engineering handbook*. CRC Press.

AVEVA. (2020, May 27). *Simulation Thermodynamic Data Keyword Manual*. <https://www.aveva.com/>

Bagajewicz, M., & Manousiouthakis, V. (1992). Mass/Heat-Exchange Network Representation of Distillation Networks. *AIChE Journal*, 38(11), 1769–1800. <https://doi.org/10.1002/aic.690381110>

Bagnato, G., Iulianelli, A., Sanna, A., & Basile, A. (2017). Glycerol Production and Transformation: A Critical Review with Particular Emphasis on Glycerol Reforming Reaction for Producing Hydrogen in Conventional and Membrane Reactors. *MDPI*, 7(2), 1–31. <https://doi.org/10.3390/MEMBRANES7020017>

Biegler, L. T., Grossmann, I. E., & Westerberg, A. W. (1997). *Systematic Methods of Chemical Process Design*. Prentice Hall PTR.

Cavani, F., Albonetti, S., Basile, F., & Gandini, A. (2016). *Chemicals and Fuels from Bio-Based Building Blocks*. John Wiley & Sons, Inc.

Chien, I., Wang, C., & Wong, D. (1999). Dynamics and control of a heterogeneous azeotropic distillation column: conventional control approach. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 38(2), 468–478. <https://doi.org/10.1021/ie980269f>

Cooper, R. G. (2011). *Winning at new products: Creating value through innovation*. Basic Books.

Fredenslund, A., & Rasmussen, P. (1986). Separations from Dilute Solutions: Group-contribution methods. *Fluid Phase Equilibria*, 27, 347–372. [https://doi.org/10.1016/0378-3812\(86\)87059-5](https://doi.org/10.1016/0378-3812(86)87059-5)

Geankoplis, C. (2006). *Procesos de transporte y principios de procesos de separación* (4th ed.). CECSA.

Ghasem, N. (2021). *Computer methods in chemical engineering*. CRC Press.

Gil Chaves, I., Guevara, J., García, J., Leguizamón, A., & Rodríguez, G. (2016). *Process Analysis and Simulation in Chemical Engineering*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-14812-0>

Jiménez, A. (2003). *Diseño de procesos en ingeniería química*. Reverté.

Kister, H., Haas, J., Hart, D., & Gill, D. (1992). *Distillation design*. McGraw Hill.

Kondo, S., Urano, Y., Tokuhashi, K., Takahashi, A., & Tanaka, K. (2001). Prediction of flammability of gases by using F-number analysis. *Journal of Hazardous Materials*, 82(2), 113–128. [https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/S0304-3894\(00\)00358-7](https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/S0304-3894(00)00358-7)

Lei, Z., Chen, B., & Li, J. (2003). Process design for separating C4 mixtures by extractive distillation. *CjChE*, 11(3), 297–301.

Lei, Z., Li, C., & Chen, B. (2003). Extractive Distillation: A Review. *Separation & Purification Reviews*, 32(2), 121–213. <https://doi.org/10.1081/SPM-120026627>

López, D. (2018). *Criterios de selección para un agente material de separación en un proceso de deshidratación de etanol por destilación extractiva*. 4(1).

Luyben, W. (2013). *Distillation Design and Control Using Aspen Simulation* (2nd ed.). John Wiley & Sons, Inc.

Martin, T. M., & Young, D. M. (2001). Prediction of the Acute Toxicity (96-h LC50) of Organic Compounds to the Fathead Minnow (pimephales promelas) Using a Group Contribution Method. *Chem. Res. Toxicol.*, 14(10), 1378–1385. <https://doi.org/10.1021/tx0155045>

Matar, S., & Hatch, L. F. (2000). *Chemistry of petrochemical processes* (2nd ed). Gulf Publishing Company.



**GRACIAS POR SU
ATENCIÓN**

