

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA**

**ESCUELA DE QUÍMICA
PROGRAMA DE QUÍMICA INDUSTRIAL**

**TRABAJO DE GRADO
MODELAMIENTO DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DEL ACEITE DE SACHA INCHI
(PLUKENETIA VOLUBILIS L.) POR SOLVENTES.**

**PRESENTADO POR:
LAURA HINCAPIÉ SERNA
COD: 1088290430**

**DIRECTOR
MSc. Ph.D MELVIN AROLDO DURAN RINCON
INGENIERO QUÍMICO
CO-DIRECTOR
MSc. Ph.D JEFFREY LEON PULIDO
INGENIERO QUÍMICO**

PEREIRA, MAYO 2016

**MODELAMIENTO DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DEL ACEITE DE SACHA INCHI
(PLUKENETIA VOLUBILIS L.) POR SOLVENTES.**

LAURA HINCAPIÉ SERNA

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA
ESCUELA DE QUÍMICA
PEREIRA
2016**

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma Director de Trabajo de Grado

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Tecnológica de Pereira, por formarnos como profesionales de la mejor calidad, por medio de todas sus herramientas y el excelente equipo humano que nos brindó sus conocimientos y nos enseñó a ser antes que profesionales, mejores seres humanos.

A la Escuela de Química y todo su personal tanto administrativo como académico, que siempre estuvieron dispuestos a apoyar nuestra labor.

Al Ingeniero Melvin Aroldo Duran Rincón por su apoyo y paciencia durante todo este proceso.

A mis padres, hermanos y familia por siempre estar conmigo y apoyarme en todo el proceso de mi formación académica.

TABLA DE CONTENIDO

Resumen	9
Palabras clave	9
Abstract	9
Key Words	9
1. INTRODUCCIÓN	9
2. PROCEDIMIENTO	10
2.1. ChemSketch	10
2.2. CurveExpert	10
2.3. Aspen Plus.....	11
3. RESULTADOS Y DISCUSIONES	11
4. CONCLUSIONES	12
RECOMENDACIONES	12
REFERENCIAS	12
ANEXO 1. MANUAL DE MODELAMIENTO DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DE SACHA INCHI (PLUKENETIA VOLUBILIS L) POR SOLVENTES.....	13
I. Creación de un compuesto que no está en la base de datos de Aspen Plus	13
i. CurveExpert.....	13
ii. Aspen Plus	15
II. Simulación del proceso de extracción de aceite de sachá inchi con hexano (Extracción sólido-líquido)	22

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Valores teóricos de temperatura de ebullición y entalpía de evaporación para cada triglicérido.	10
Tabla 2 Curva de temperaturas vs logaritmo natural de la presión.....	10
Tabla 3 Constantes de la ecuación de Antoine extendida.....	11
Tabla 4 Kilogramos por hora de cada compuesto en todas las corrientes.	11
Tabla 5 Cantidad de calor usado en la roto evaporación.	12

TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Esquema del proceso de simulación de extracción de aceite.....	11
Ilustración 2 Creación de un nuevo modelo no lineal.	
Ilustración 3 Introducción de la ecuación de Antoine extendida.....	13
Ilustración 4 Pasos para seleccionar un modelo no lineal.	14
Ilustración 5 Selección de la ecuación de Antoine extendida como modelo no lineal.	14
Ilustración 6 Ajuste del modelo y valores de las constantes de la ecuación de Antoine extendida.	15
Ilustración 7 Cuadro de diálogo de apertura en Aspen Plus.	15
Ilustración 8 Segundo cuadro de diálogo en Aspen Plus con la selección del tipo de proceso y tipo de ejecución.....	16
Ilustración 9 Selección de compuestos.	16
Ilustración 10 Estimación de propiedades.	17
Ilustración 11 Estructura molecular.....	17
Ilustración 12 Parámetros de un nuevo componente puro (Escalar).....	18
Ilustración 13 Parámetros escalares para un componente puro.	18
Ilustración 14 Parámetros de un nuevo componente puro (Dependiente de la temperatura).....	19
Ilustración 15 Parámetros dependientes de la temperatura para un componente puro.	19
Ilustración 16 Puesta a correr de la simulación.	20
Ilustración 17 Resultados de la estimación de propiedades (Escalar).	20
Ilustración 18 Resultados de la estimación de propiedades (Dependiente de la temperatura).....	21
Ilustración 19 Ventana para guardar compuesto.	21
Ilustración 20 Cuadro de diálogo de apertura en Aspen Plus.	22
Ilustración 21 Segundo cuadro de diálogo en Aspen Plus con la selección del tipo de proceso y tipo de ejecución.....	23
Ilustración 22 Diagrama del proceso completo.	23
Ilustración 23 Ventana de especificación de los componentes.	24
Ilustración 24 Ventana de definición de un compuesto no convencional.....	24
Ilustración 25 Pasos para importar un compuesto que no está en la base de datos.....	25
Ilustración 26 Ventana de selección del compuesto a importar.....	25
Ilustración 27 Ventana de resolución de conflictos de ID.	26
Ilustración 28 Ventana de selección de tipo de corrida (Run Type) y clase de corriente (Stream Class).....	26
Ilustración 29 Ventana de opciones de estimación de parámetros.	27
Ilustración 30. Ventana de selección del modelo termodinámico (Property method).	27
Ilustración 31 Ventana de propiedades avanzadas de un compuesto no convencional.	28
Ilustración 32 Ventana de selección de parámetros de un componente puro.	28
Ilustración 33 Ventana de introducción de parámetro de un compuesto no convencional (Densidad).	29
Ilustración 34 Ventana de introducción de parámetro de un compuesto no convencional (Entalpía).	29

Ilustración 35 Ventana de especificación de la corriente de alimentación 1 (Mixed).	30
Ilustración 36 Ventana de especificación de la corriente de alimentación 1 (NCPSD).	30
Ilustración 37 Ventana de especificación de la distribución de tamaño de partícula.	31
Ilustración 38 Ventana de especificación del atributo del compuesto no convencional.	31
Ilustración 39 Ventana de especificación de la corriente de alimentación 2.	32
Ilustración 40 Ventana de especificación de cambio de temperatura.	32
Ilustración 41 Ventana de especificación de parámetros del mezclador.	33
Ilustración 42 Ventana de especificación de los parámetros del hidrociclón.	33
Ilustración 43 Ventana de especificación de las dimensiones del hidrociclón.	34
Ilustración 44 Ventana de especificación de parámetros del separador.	34
Ilustración 45 Panel de control de resultados.	35
Ilustración 46 Ventana de resumen de la corrida.	35
Ilustración 47 Ventana de resultados de materia en cada corriente.	36
Ilustración 48 Ventana de resultados de calor.	36

Modelamiento del proceso de extracción de aceite de Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis L*) por solventes.

Modeling of the Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis l*) oil extraction by solvents.

Laura Hincapié Serna

Escuela de Química, Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia

Correo-e: laurishdls@hotmail.com

Resumen— Se realizó la simulación del proceso de extracción de aceite de Sacha Inchi partiendo del modelamiento de los tres principales triglicéridos que lo componen (Trilinolenina, Dilinolenil-linoleína y Dilinoleil-linolenina) y utilizando el programa Aspen Plus. Se usó como solvente para la extracción el hexano y se emplearon tres equipos ofrecidos por el programa, una mezcladora (Mixer), un Hidrociclón (HyCyc) y por último un Separador (Flash) que representaba un roto-evaporador para eliminar el solvente del aceite obtenido. Como resultado se alcanzó un rendimiento de 83,78% dando un valor de 34,351 Kg/hr de producto.

Palabras clave— Extracción, Aceite, Solvente, Simulación, Modelamiento, Triglicéridos

Abstract— Sacha Inchi oil extraction was simulated by starting from the three main triglycerides that compose it (Trilinolenin, Dilinolenoyl-linoleoylglycerol and dilinoleoyl-linolenoylglycerol) and utilizing the Aspen Plus program. The solvent used for the extraction was Hexane and three equipment offered by the program, a mixer (Mixer), a Hydrocyclone (HyCyc) and for the last a Separator (Flash) that represents a rotary evaporator to eliminate the solvent from the oil obtained. As a result of 83,78 % yield giving a value of 34.351 Kg/hr of product obtained.

Key Words — Extraction, Oil, Solvent, Simulation, Modeling, Triglycerides.

1. INTRODUCCIÓN

La Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis L.*), también llamada “Maní Inca”, “Maní salvaje”, “Inchi Inca” o “Maní de montaña”, es una planta de la familia Euphobiaceae, la cual crece en las selva amazónica. Esta planta, cultivada ampliamente en Perú, ha sido un componente de la dieta de varias tribus de la región. Actualmente es ampliamente cultivada en el sur de Colombia y se ha considerado como un

nuevo cultivo prometedor. Las semillas de Sacha Inchi son de gran interés por su gran contenido de aceite (35 – 60%).¹

Las semillas de Sacha inchi de Colombia se caracterizan por tener alto contenido de aceite y proteínas (41,4 y 24,7%, respectivamente). El aceite, compuesto principalmente de lípidos neutros, contiene cantidades importantes de ácidos grasos esenciales (omega-3 y omega-6), que alcanzó el 50,8 y 33,4% de ácidos grasos totales, respectivamente. Este alto contenido de ácidos grasos ω -3 y ω -6 de la semilla de sachá inchi da la oportunidad de ser empleado en la fabricación de productos de alto valor añadido, tales como cápsulas de ácidos grasos esenciales, y para poner en marcha los procesos innovadores para producir ácido linoleico conjugado y ácido linoléico conjugado, que se han reportado que tienen excelentes propiedades para la salud humana. Los grupos acilo linoléicos son conocidos por proporcionar protección contra enfermedades cardiovasculares, artritis reumatoidea, cáncer y algunas infecciones virales.²

La simulación de procesos químicos tiene ventajas con respecto a las prácticas experimentales en un laboratorio como estimar y realizar análisis de regresión de propiedades físicas, realizar procesos donde los componentes deben ser mezclados, separados, calentados, enfriados y convertidos mediante operaciones básicas, también predicen el comportamiento de un proceso utilizando principios de la ingeniería, calculan balances de materia y energía, equilibrio químico y entre fases, analizan el comportamiento de un sistema y realizan estudios de optimización y sensibilidad, cambian las condiciones de operación y analizan alternativas, estima costos y generan como salida gráficas o bien tablas de resultados.

El propósito de este estudio es determinar el rendimiento de extracción de aceite de sachá inchi mediante el simulador Aspen Plus, usando las propiedades fisicoquímicas de los triglicéridos y comparar con los resultados de laboratorio obtenidos en 5 experimentos.

APLICACIONES DEL ACEITE DE SACHA INCHI

El aceite de sacha inchi tiene aplicaciones en medicina y en cosmética, sin embargo el aceite extraído con hexano, debido a que posee pequeños volúmenes del solvente es más utilizado en la industria cosmética.

Aplicaciones cosméticas:

- Productos anti-edad, anti-arrugas (rostro, cuello y contorno de ojos)
- Productos para piel sensible y piel seca.
- Humectantes (rostro, cuerpo y manos).
- Productos para el cuidado capilar.

Repara los tejidos de la piel dañada, aumenta la elasticidad y ayuda a reconstruir el colágeno de la piel. Su rico contenido en vitaminas A y E, protege de la acción de los radicales libres, causa principal del envejecimiento prematuro de las células, logrando una perfecta hidratación cutánea, reduciendo las arrugas, las líneas al contorno de los ojos y previniendo las molestas manchas en el rostro (Cloasmas y Melasmas), nutre la piel maltratada por los agentes externos, restituye los nutrientes esenciales de la piel. Es uno de los mejores regeneradores dérmicos existentes, muy beneficioso para las queloides, soriasis y vitiligo.

2. PROCEDIMIENTO

Para la simulación del proceso de extracción de aceite se partió de la suposición de que este estaba compuesto por los tres triglicéridos siguientes: Trilinolenina (LnLnLn), Dililenoil-linoleina (LnLLn) y Dilinoleil-linolenina (LLnL), las composiciones de estos compuestos en el aceite se obtuvieron del artículo "Chemical Characterization of Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis*L.) Oil"³ y los valores se extrapolaron para que representaran el 100% del aceite.

2.1. ChemSketch

Usando este programa se realizó la estructura de los tres triglicéridos anteriormente mencionados y se guardaron usando la opción de ".mol" para que el programa simulador aceptara la estructura.

2.2. CurveExpert

Se realizó la determinación de la entalpía de vaporización usando el artículo "Estimation of the Enthalpy of Vaporization and the Entropy of Vaporization for Pure Organic Compounds at 298.15 K and at Normal Boiling Temperature by a Group Contribution Method"⁴ y el punto de ebullición usando el artículo "Group-contribution based estimation of pure component properties"⁵.

Triglicerido	TB (K)	Hv (J/mol)
TG LnLnLn	819,08	165,7450
TG LnLLn	823,77	167,6110
TG LLnL	835,17	169,4750

Tabla 1 Valores teóricos de temperatura de ebullición y entalpía de evaporación para cada triglicérido.

	TG LnLnLn	TG LnLLn	TG LLnL
T° (K)	ln P ₂ (mmHg)	ln P ₂ (mmHg)	ln P ₂ (mmHg)
298,15	-35,8921	-36,5110	-37,3286
318,15	-31,6888	-32,2603	-33,0306
338,15	-27,9827	-28,5125	-29,2411
358,15	-24,6905	-25,1832	-25,8748
378,15	-21,7465	-22,2061	-22,8646
398,15	-19,0983	-19,5281	-20,1568
418,15	-16,7034	-17,1063	-17,7081
438,15	-14,5272	-14,9056	-15,4829
458,15	-12,5410	-12,8970	-13,4519
478,15	-10,7209	-11,0564	-11,5909
498,15	-9,0470	-9,3636	-9,8793
518,15	-7,5023	-7,8015	-8,2998
538,15	-6,0724	-6,3556	-6,8378
558,15	-4,7450	-5,0132	-5,4805
578,15	-3,5094	-3,7637	-4,2171
598,15	-2,3565	-2,5978	-3,0382
618,15	-1,2781	-1,5073	-1,9356
638,15	-0,2674	-0,4852	-0,9021
658,15	0,6820	0,4748	0,0686
678,15	1,5753	1,3782	0,9820
698,15	2,4174	2,2298	1,8431
718,15	3,2127	3,0340	2,6562
738,15	3,9648	3,7946	3,4253
758,15	4,6773	4,5151	4,1538
778,15	5,3531	5,1986	4,8448
798,15	5,9951	5,8478	5,5013
818,15	6,6057	6,4652	6,1256
838,15	7,1871	7,0532	6,7201

Tabla 2 Curva de temperaturas vs logaritmo natural de la presión.

Se usaron los valores de temperaturas de ebullición y de entalpías de evaporación para realizar la tabla 1 y estimar el logaritmo natural de la presión 2 (Ln P₂) usando la ecuación de Clausius-Clapeyron. Posteriormente se ingresó la ecuación

extendida de Antoine (Ecuación 1) al programa CurveExpert junto con los valores de la tabla 1 y se procedió a graficar. Al introducir el modelo de Antoine, el programa arroja los valores para cada constante respectivamente.

$$\ln P = a + \frac{b}{T} + dT + e \ln T \quad \text{Ecuación 1}$$

Para confirmar los valores de las constantes se despejó la presión de la ecuación anterior y se confirmó que este valor fuese 760 mmHg.

Triglicerido	a	b	c	d	E
Tri LnLnLn	30,97	-19935,91	0	1,29E-06	-1,18E-03
Tri LnLLn	31,11	-20160,54	0	1,92E-06	-0,001962
Tri LLnL	31,04	-20384,61	0	1,24E-06	-0,001308

Tabla 3 Constantes de la ecuación de Antoine extendida.

2.3. Aspen Plus

- Creación de un compuesto que no está en la base de datos.

Con las especificaciones ofrecidas por el programa se procedió a introducir la estructura molecular, punto de ebullición y constantes de Antoine para determinar las propiedades fisicoquímicas de cada triglicérido e ingresar el compuesto al programa. Una vez realizado esto se procede a guardar el compuesto como backup (.bkp).

Flujo Masico (Kg/hr)	CORRIENTES DE MATERIA						
	FEED	SOLVENT	MIX	SOLV-PRO	CAKE	SOLRECUPE	PRODUCT
Hexane		200	200	167,565	32,435	163,381	4,184
TG LnLnLn	9,57		9,57	8,018	1,552	TRAZA	8,018
TG LnLLn	17,27		17,27	14,469	2,801	TRAZA	14,469
TG LLnL	14,16		14,16	11,864	2,296	TRAZA	11,864
Cake	59		59		59		
Temperatura (C°)	30	30	30	30	30	50	50

Tabla 4 Kilogramos por hora de cada compuesto en todas las corrientes.

Se ingresaron 200 Kg /hr de Hexano y 100 Kg/hr de semilla de Sacha Inchi y se partió de la suposición de que la semilla tenía 41 % de aceite y 59% de torta de acuerdo a Gutierrez¹ que en 2011 determinó este resultado usando la Sacha inchi de Florencia (Caquetá, Colombia) y el hexano como solvente de extracción. El contenido de aceite obtenido en este estudio está por debajo del intervalo reportado por Guillen en 2003⁶ de (35-60%), similar al obtenido por Bondioli y Della Bella en 2006⁷ (34,42%), pero mucho más bajo que el reportado por Hamaker en 1992⁸ y Follegatti y Romero en 2009⁹ (54%).

• Simulación

Para la simulación se usó como solvente el Hexano, se importaron los tres triglicéridos y se creó un compuesto no convencional llamado Cake, el cual representa la torta de Sacha Inchi, como modelo termodinámico (property method) se seleccionó NRLT y como clase de corriente (stream class) MIXNCPD (Mezcla de un compuesto no convencional con distribución de tamaño de partícula).

Los equipos seleccionados fueron una Mezcladora (Mixer) para incorporar el solvente con la semilla triturada de Sacha Inchi, posteriormente esta mezcla entra a un Hidrociclón (HyCyc) donde se realiza el proceso de extracción sólido-líquido, por la corriente inferior sale la torta de Sacha Inchi y por la corriente superior sale el solvente con el aceite para finalmente ingresar a un Separador (Flash) que representa un roto-evaporador para retirar la mayor cantidad del solvente del aceite y obtener el producto final.

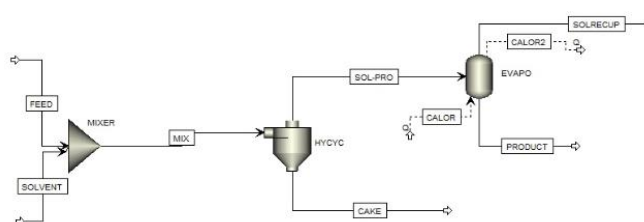


Ilustración 1 Esquema del proceso de simulación de extracción de aceite.

3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

El porcentaje de rendimiento de la simulación de la extracción de aceite fue de 83,78 %, es decir que el restante 16,22 %, no pudo ser retirado y se quedó en la torta junto con el 16,22 % del solvente alimentado, también podemos observar que el 2,092 % del hexano permaneció hasta el final con el aceite, es decir que no pudo ser retirado en el proceso de roto-evaporación. Al mismo tiempo algunas trazas de aceite se van con el hexano al momento de la recuperación de este.

	CORRIENTES DE CALOR	
	CALOR	CALOR 2
QCALC (MJ/hr)	0	-679,954
T Inicio (°C)	30	30
T Final (°C)	50	50

Tabla 5 Cantidad de calor usado en la roto evaporación.

En el momento de la separación del hexano del aceite, se utiliza una condición determinada para la roto-evaporación del hexano de 300 mbar de presión de vacío y una temperatura de 50°C del baño maría. Debido al aumento de la temperatura y el efecto de la presión, se requiere una energía de 679,954 MJ/hr para poder realizar el proceso.

4. CONCLUSIONES

La simulación de procesos tiene muchas ventajas como anteriormente mencionamos, particularmente para este estudio, debido a que las cantidades de solvente tuvieron que ser modificadas para obtener el mayor rendimiento posible, estos cambios constantes no produjeron aumento de costos ni un aumento significativo en el tiempo invertido en la realización del estudio a diferencia del costo que requeriría aumentar volumen de solvente y realizar todo el proceso completo en un laboratorio.

El programa Aspen Plus tiene una interface amigable con el usuario que lo desee utilizar; gracias al icono de Next, el simulador le llevara a través de cada parte del proceso indicando los valores que debe introducir, también posee una gran cantidad de compuestos en la base de datos y en el caso de que no se encuentre el compuesto deseado, el programa ofrece opciones para crearlo y guardarlo para poder ser utilizado en una posterior simulación.

Determinar la entalpia de vaporización y presión de vapor de los triglicéridos en una práctica de laboratorio no es posible debido a que son termodegradables, por esta razón se deben estimar estas propiedades y una vez determinadas son de gran utilidad para calcular las constantes de la ecuación de Antoine extendida. El programa Aspen Plus tiene la opción de usar esta ecuación de Antoine para poder estimar las propiedades de los triglicéridos y cualquier otro compuesto que no se encuentre en la base de datos, utilizando los métodos de Joback, Benson, Bondi, Definiti entre otros.

El aceite de sacha inchi contiene 16 triglicéridos, sin embargo debido a que el 50% del aceite esta compuesto por Trilinolenina, Dililenil-linoleína y Dilinolel-linolenina, se decidió usar estos tres triglicéridos para modelar el aceite de sacha inchi. Una vez realizada la simulación se puede observar que el contenido de aceite obtenido se encuentra en el rango de los resultados de la literatura, esto nos confirma que los tres triglicéridos se comportan y representan de forma adecuada al aceite.

RECOMENDACIONES

Para más detalles sobre la metodología de este artículo referirse al anexo 1 “Manual del modelamiento de proceso de extracción de aceite de Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) por solventes”.

REFERENCIAS

- Gutiérrez, L. F., Rosada, L. M. & Jiménez, Á. Chemical composition of Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) seeds and characteristics of their lipid fraction. *Grasas y Aceites* **62**, 76–83 (2011).
- Huertado, Z. A. *Análisis composicional de la torta y aceite de semillas de Sacha Inchi (Plukenetia volubilis) cultivada en Colombia*. 87 (2013).
- Fanali, C. *et al.* Chemical characterization of Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) oil. *J. Agric. Food Chem.* **59**, 13043–13049 (2011).
- Kolská, Z., Růžička, V. & Gani, R. Estimation of the enthalpy of vaporization and the entropy of vaporization for pure organic compounds at 298.15 K and at normal boiling temperature by a group contribution method. *Ind. Eng. Chem. Res.* **44**, 8436–8454 (2005).
- Marrero, J. & Gani, R. Group-contribution based estimation of pure component properties. *Fluid Phase Equilib.* **183-184**, 183–208 (2001).
- Guillen, M. D., Ruiz, A., Cabo, N., Chirinos, R. & Pascual, G. Characterization of sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) oil by FTIR spectroscopy and ¹H NMR. Comparison with linseed oil. *J. Am. Oil Chem. Soc.* **80**, 755–762 (2003).
- Bondioli, P., Bella, L. Della & Rettke, P. Alpha linolenic acid rich oils. Composition of *Plukenetia volubilis* (Sacha Inchi) oil from Peru. *Riv. Ital. delle Sostanze Grasse* **83**, 120–123 (2006).
- Hamaker, B. R. *et al.* Amino acid and fatty acid profiles of the Inca peanut (*Plukenetia volubilis*). *Cereal Chem.* **69**, 461–463 (1992).
- Follegatti-Romero, L. A., Piantino, C. R., Grimaldi, R. & Cabral, F. A. Supercritical CO₂ extraction of omega-3 rich oil from Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) seeds. *J. Supercrit. Fluids* **49**, 323–329 (2009).

ANEXOS

ANEXO 1. MANUAL DE MODELAMIENTO DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DE SACHA INCHI (PLUKENETIA VOLUBILIS L) POR SOLVENTES

Esta guía es apropiada para los usuarios de Aspen Plus que deseen modelar procesos de extracción sólido-líquido. Podrán aprender a introducir compuestos que no se encuentran en las bases de datos, estimar sus propiedades fisicoquímicas y crear compuestos no convencionales que no participan directamente en el objetivo del proceso

El presente manual hace referencia a dos de los tres programas descritos anteriormente, el CurveExpert y el Aspen Plus; sin embargo, no será tenido en cuenta el manejo del programa ChemSketch, puesto que no es necesario dar instrucciones del uso de este por su simplicidad de manejo.

I. Creación de un compuesto que no está en la base de datos de Aspen Plus

Lo siguiente, indicará de manera breve y resumida los pasos para la creación del compuesto en:

CurveExpert

- Creación de un modelo personalizado
- Aplicación del modelo (Antoine extendida)
- Determinación de constantes

Aspen Plus

- Cambiar el tipo de corrida (Run Type)
- Estimación de parámetros que faltan
- Importar estructura
- Agregar parámetros conocidos
- Observar resultados

A continuación, se describirán con mayor profundidad, los pasos a seguir, en cada programa, para la creación de los tres triglicéridos que serán usados más adelante en la simulación.

i. CurveExpert

Se comienza por crear el modelo personalizado, en este caso es la ecuación de Antoine extendida. En la barra de tareas se selecciona la opción **Tools** y luego se hace clic en la opción **Create Custom Models**, posteriormente se introduce la ecuación, se guarda haciendo clic en **Save as** y se le da el nombre deseado.

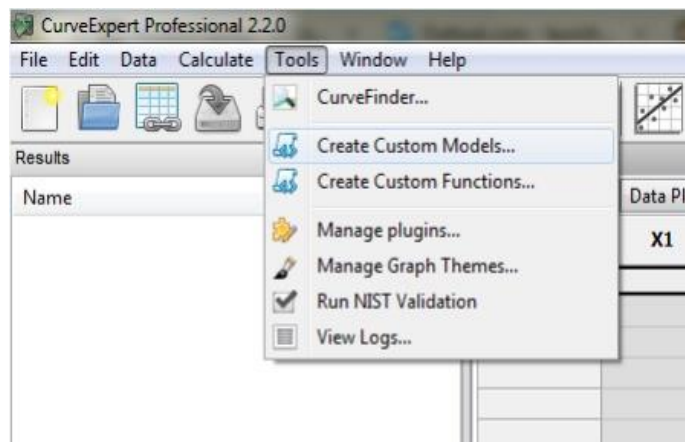


Ilustración 2 Creación de un nuevo modelo no lineal.

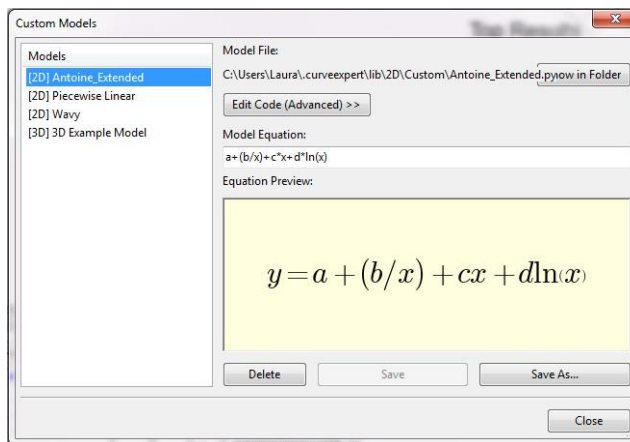


Ilustración 3 Introducción de la ecuación de Antoine extendida.

Se introducen los datos de temperaturas de ebullición y entalpías de evaporación para realizar la curva. Luego se procede a seleccionar el modelo dando clic en **Calculate** que está en la barra de tareas y a seleccionar la opción **Nonlinear Model Fit**.

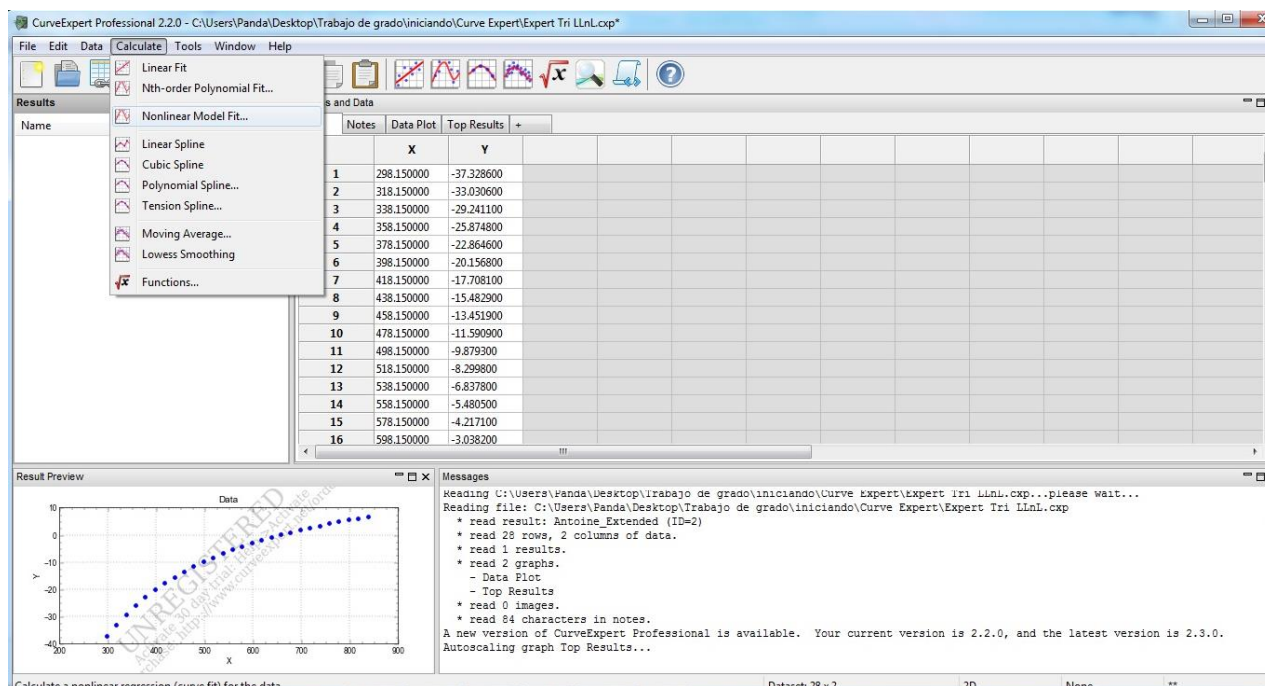


Ilustración 4 Pasos para seleccionar un modelo no lineal.

Se selecciona el modelo creado por nosotros, en este caso **Antoine_Extended** y hacemos clic en **OK**.

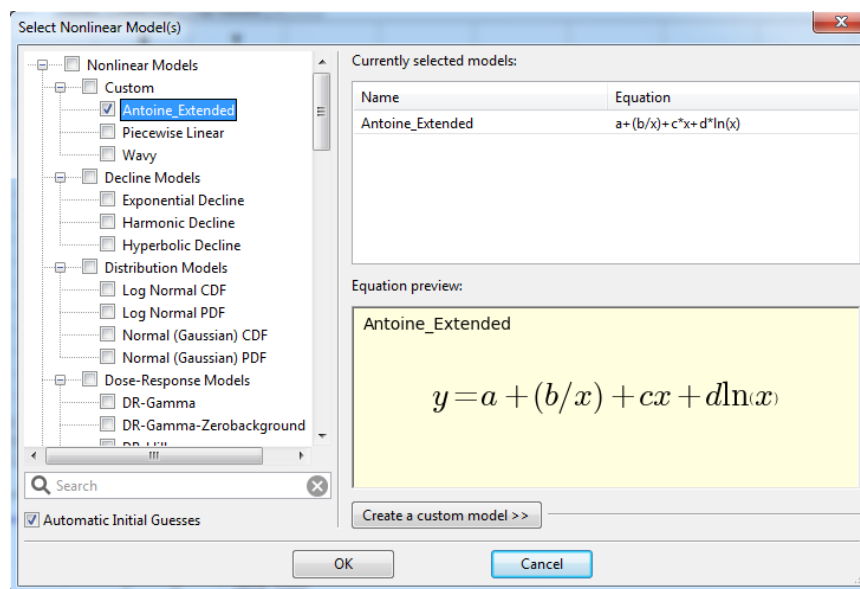


Ilustración 5 Selección de la ecuación de Antoine extendida como modelo no lineal.

Una vez realizado esto, se podrá observar que la ecuación extendida de Antoine se ajusta perfectamente a la curva de temperatura de ebullición vs entalpía de vaporización.

En la parte inferior del programa se mostrarán los valores de las constantes del modelo que servirán para determinar las propiedades fisicoquímicas de los tres triglicéridos en el programa Aspen Plus.

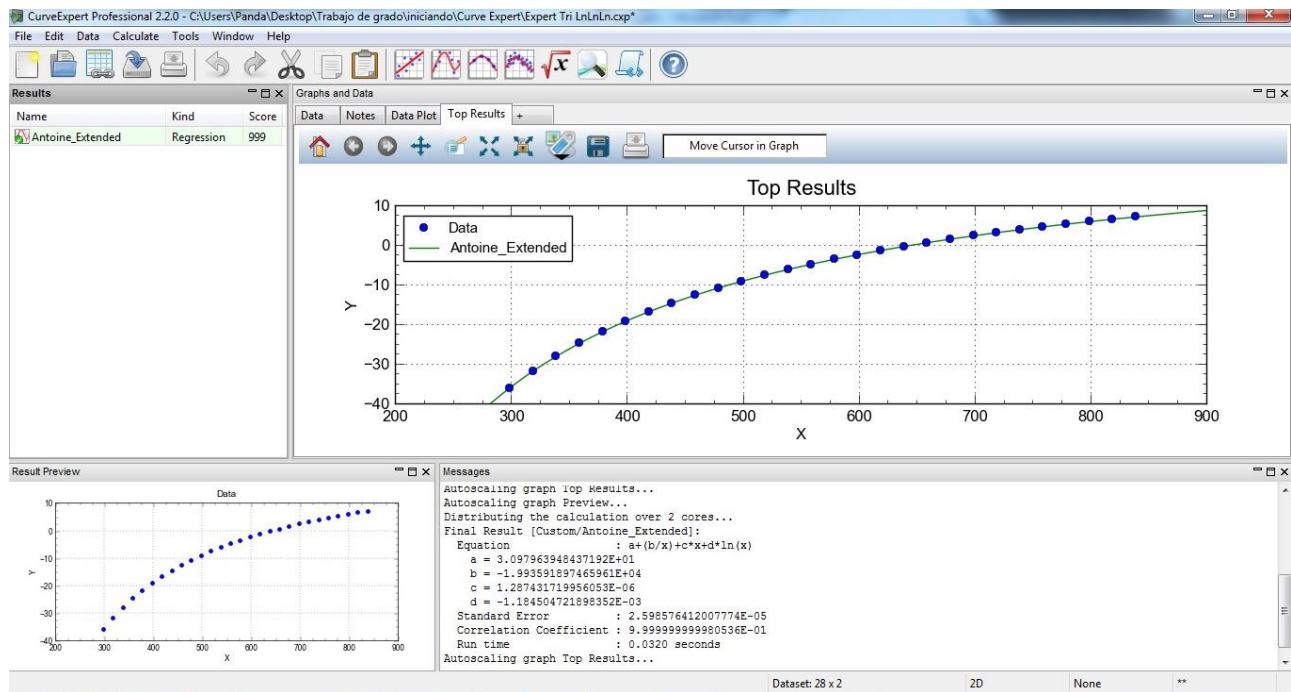


Ilustración 6 Ajuste del modelo y valores de las constantes de la ecuación de Antoine extendida.

ii. Aspen Plus

El primer cuadro de diálogo que encuentra le pide que seleccione entre una simulación nueva ya sea **Simulación en blanco (Blank Simulation)** o **Plantilla (Template)**, y la opción de **Abrir Simulación Existente (Open an Existing Simulation)** Aquí elija la opción **Plantilla (Template)** y seleccione **OK**.

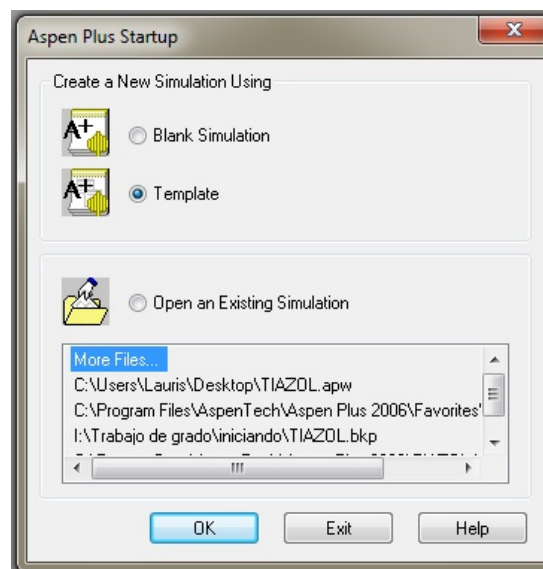


Ilustración 7 Cuadro de diálogo de apertura en Aspen Plus.

El siguiente cuadro de diálogo tiene dos pestañas: -uno para las simulaciones y uno para las refinerías, seleccione la pestaña de **Simulation**. Luego, en la esquina inferior derecha se tiene una lista desplegable llamada **Run Type**, de esta elija **Property Estimation**.

Por último, elija un tipo de proceso y las unidades en las que desea trabajar de la lista de opciones del cuadro de diálogo. Aquí se propone una simulación **General con Unidades Internacionales (General with Metric Units)**. Todas estas opciones pueden ser modificadas posteriormente en el programa si lo desea.

La diferencia esencial entre los tipos de procesos Aspen es que preselecciona los modelos termodinámicos más apropiados para el proceso dado. Sin embargo, podrán anular estas opciones pre-seleccionadas si así lo deciden.

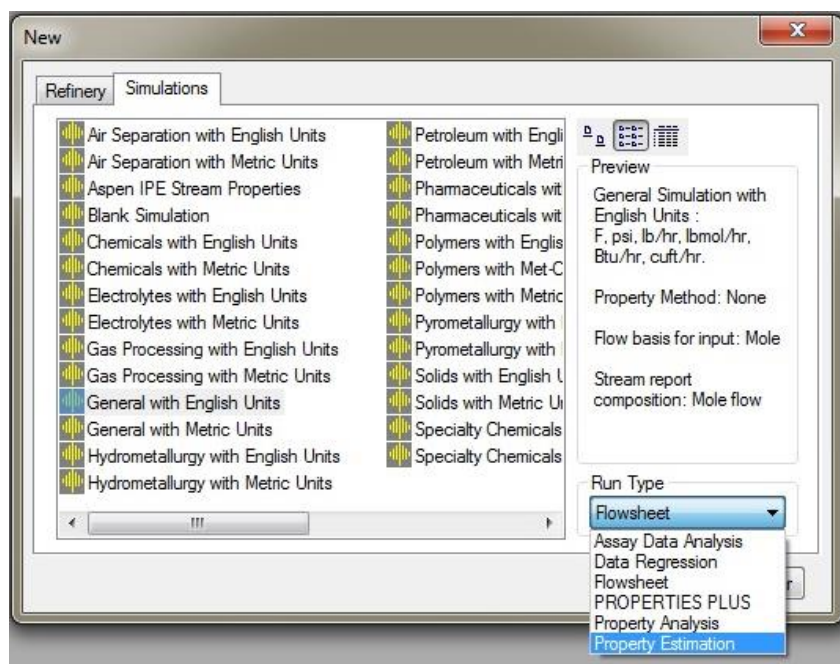


Ilustración 8 Segundo cuadro de diálogo en Aspen Plus con la selección del tipo de proceso y tipo de ejecución.

En seguida, se abrirá el **Navegador de Datos** llamado **Data Browser**. En la parte izquierda del cuadro se mostrará una lista de opciones, seleccione la opción **Components**, en el cuadro principal se mostrarán las opciones para definir los componentes. En el recuadro inferior denominado **Component ID** escriba el nombre del triglicérido -debido a que el número de caracteres es reducido, se debe colocar un nombre corto que no pueda ser olvidado- en este caso escribimos **TRI LN** que corresponde a la Trilinoleína y en el recuadro **Type** de la derecha seleccione la opción **Convencional**.

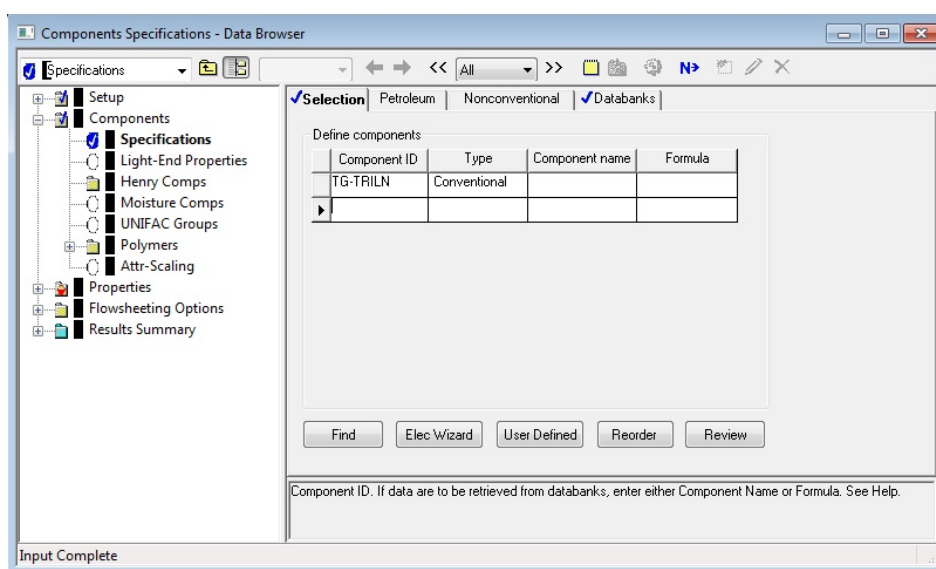


Ilustración 9 Selección de compuestos.

Volvemos a la lista de opciones de la izquierda y esta vez seleccionamos la opción **Properties** e inmediatamente otra lista de opciones se desplegará, seleccionar la segunda opción que dice **Estimation**. En el recuadro principal se tendrán tres opciones de estimación, seleccionar la opción **Estimate all missing parameters**. Esta opción es la que nos arrojará los parámetros que no conocemos sobre los triglicéridos.

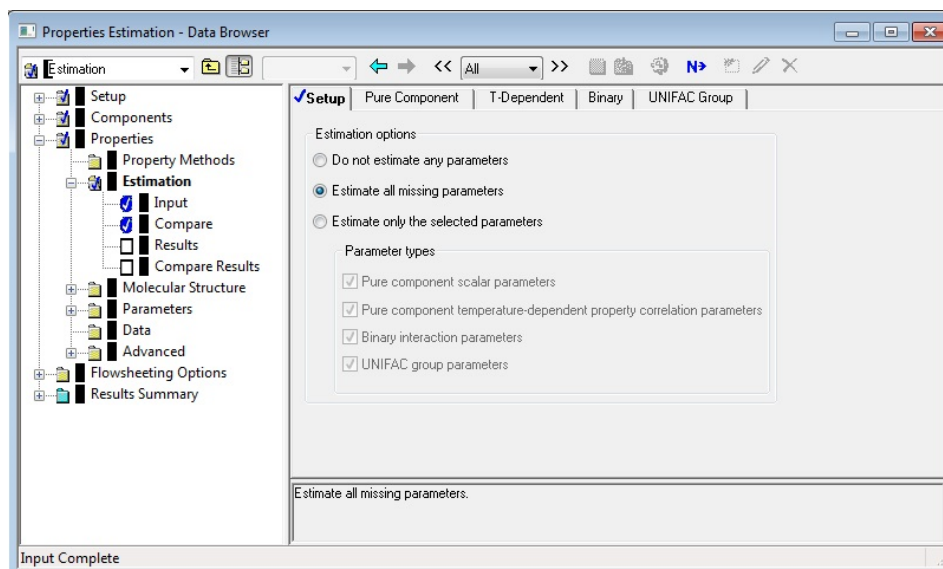


Ilustración 10 Estimación de propiedades.

Nuevamente en la lista de opciones de la izquierda seleccione la opción que dice **Molecular Structure**. El recuadro principal tiene cuatro pestañas, elija la última opción que dice **Structure** y haga clic en el botón **Import Structure**, se abrirá un cuadro de dialogo para buscar la estructura del triglicérido previamente guardada; en este caso, la estructura fue diseñada en el programa ChemSketch y guardada como “.mol” (punto mol). Una vez importada la estructura, el botón **Calculate Bond** será visible. Hacer clic.

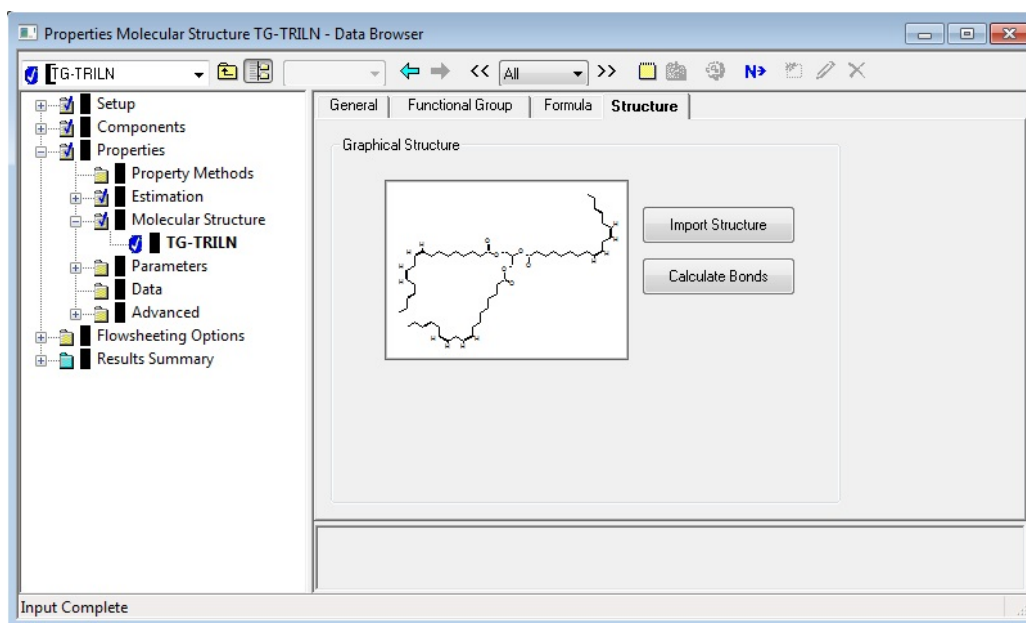


Ilustración 11 Estructura molecular.

En la misma lista de opciones seleccionar **Parameters**, luego se desplegará una nueva lista, elija la primera opción llamada **Pure Component**.

En el recuadro principal hacer clic en el botón que dice **New**, luego de lo cual una nueva ventana de diálogo se abrirá (**New Pure Component Parameters**) presentando tres opciones del tipo de parámetro para el componente puro. Seleccionar la opción **Scalar** y dar clic en **OK**.

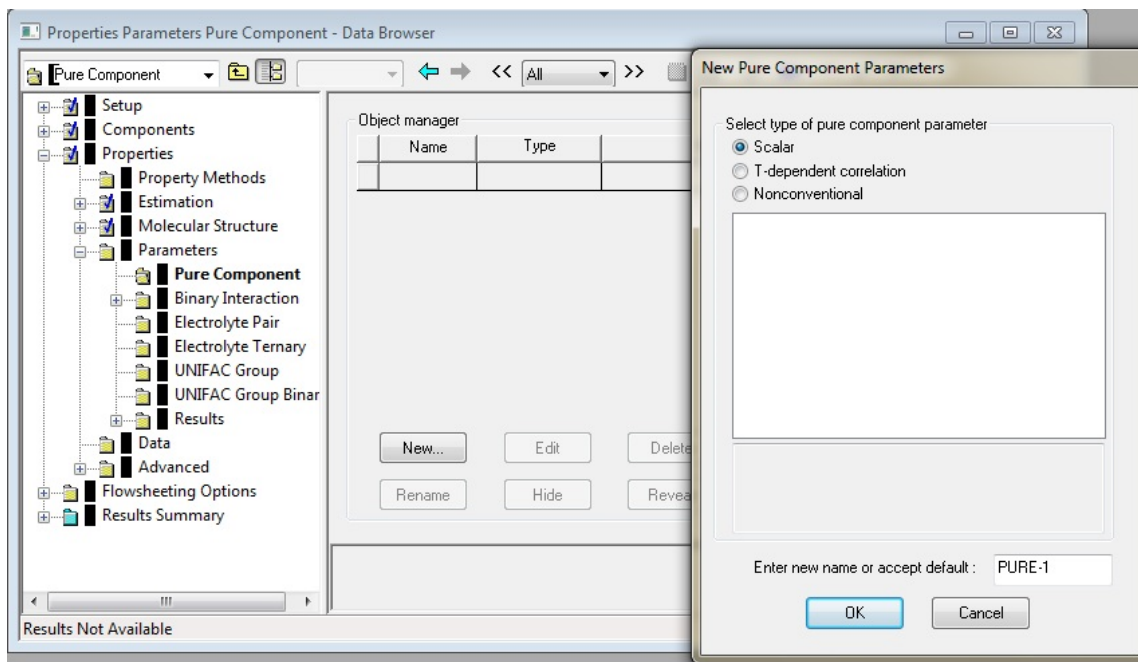


Ilustración 12 Parámetros de un nuevo componente puro (Escalar).

Una vez realizado lo anterior, aparece un nuevo recuadro principal, donde se deben introducir los parámetros escalares para un componente puro. En el recuadro inferior a **Parameters** se desplegará una lista, seleccionar la opción **TB** que se refiere al punto de ebullición, en los demás recuadros escribir la opción de temperatura en grados centígrados e introducir el valor del punto de ebullición del triglicérido en cuestión.

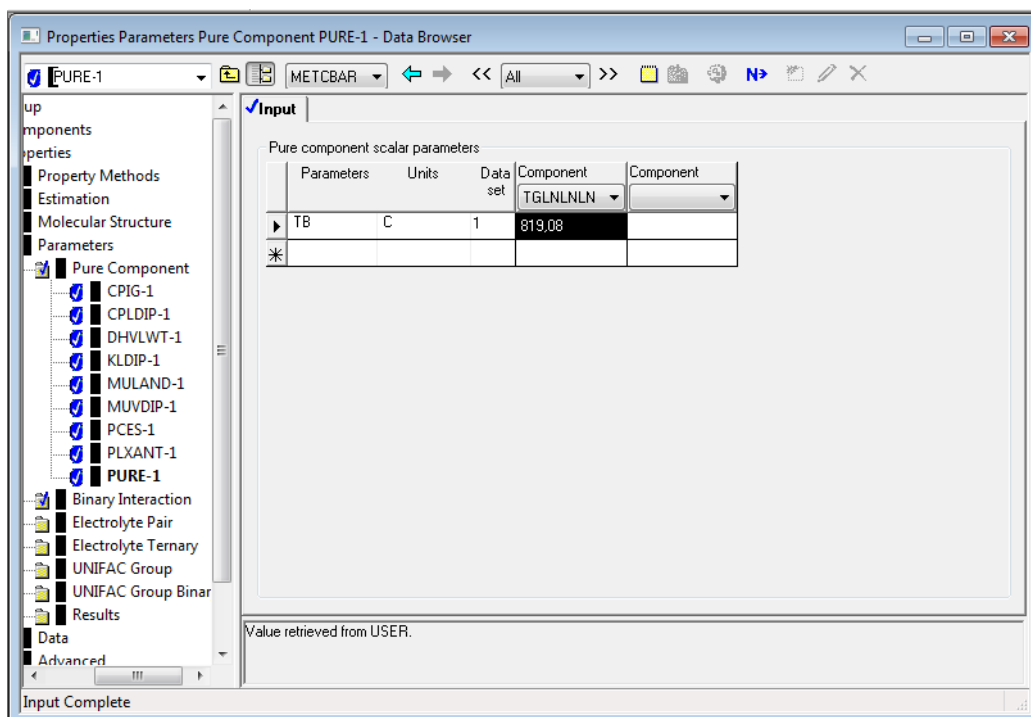


Ilustración 13 Parámetros escalares para un componente puro.

De nuevo, seleccionar la opción **Pure Component** y hacer clic en **New**. Esta vez elija **T-dependent correlation**. En el recuadro principal se mostrará una lista de opciones, buscar **Liquid vapor pressure** y seleccionar **PLXANT-1**, luego hacer clic en **OK**. De esta forma podremos introducir los valores hallados de las constantes de la ecuación de Antoine extendida.

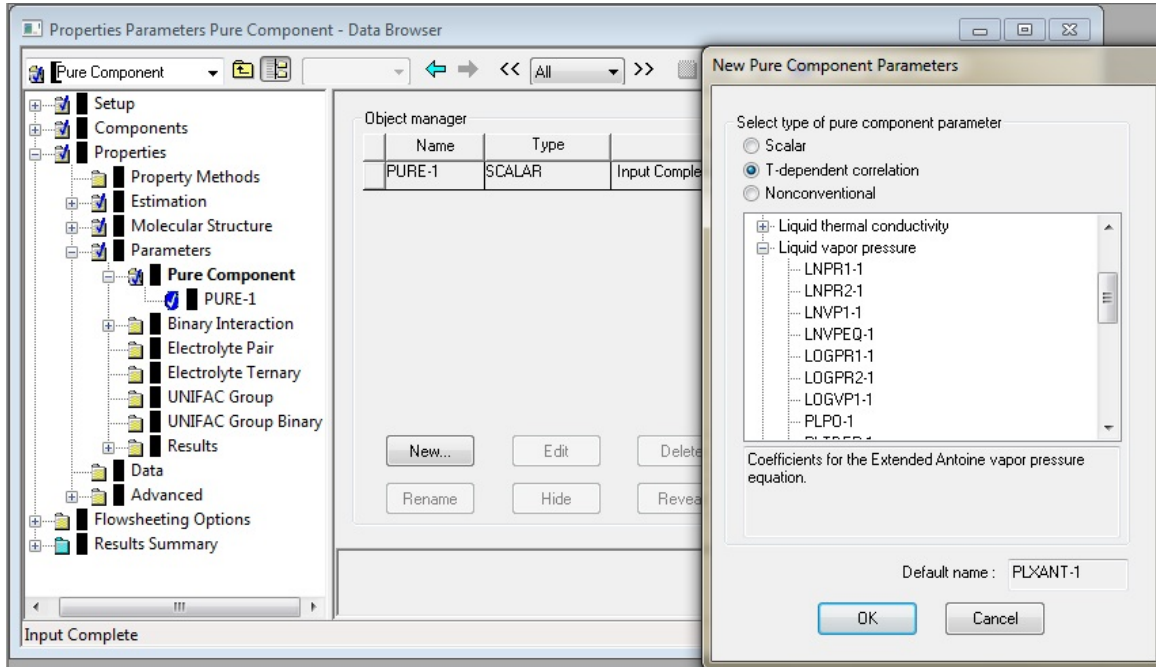


Ilustración 14 Parámetros de un nuevo componente puro (Dependiente de la temperatura).

En el recuadro principal se mostrará la opción de introducir las constantes de Antoine, escogiendo el compuesto, las unidades de temperatura y las unidades de la presión. En este caso se utiliza la temperatura en grados centígrados y la presión en mmHg.

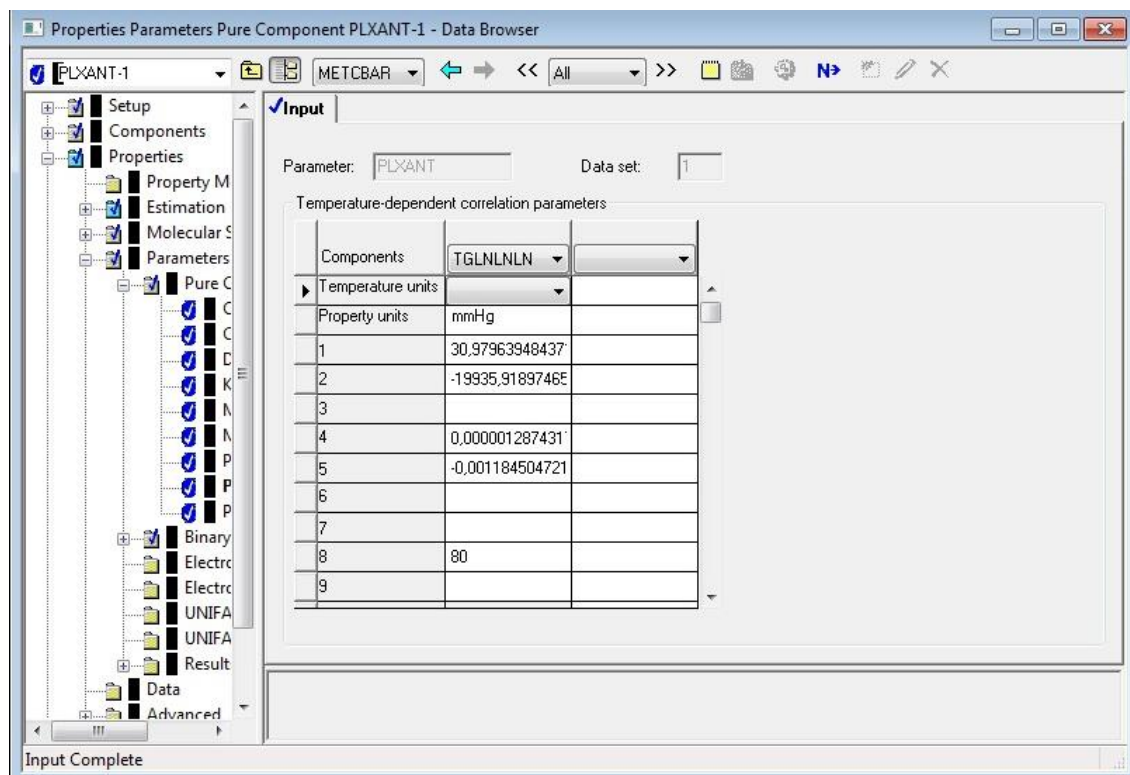


Ilustración 15 Parámetros dependientes de la temperatura para un componente puro.

Una vez introducidos todos los datos necesarios, se procede a correr la simulación para estimar las propiedades fisicoquímicas de cada compuesto.

En la barra superior, seleccionar la pestaña **Run** y después hacer clic en la opción **Run** o seleccionar la tecla **F5**.

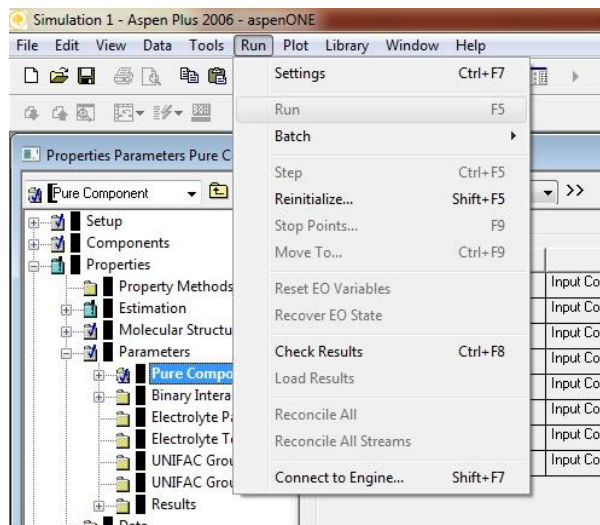



Ilustración 16 Puesta a correr de la simulación.

Una ventana emergente dirá que los datos necesarios han sido introducidos y que la simulación esta lista para correr. Hacer clic en **Aceptar**.

En el Panel de Control se mostrará una descripción de la corrida y una vez terminado mostrará **Simulations Calculations Completed** en la parte superior de este recuadro se podrá observar el siguiente ícono , el cual nos indicará que los resultados están listos y sin ningún contratiempo, hacer clic en él. Seguidamente, una nueva ventana aparecerá, donde se podrán apreciar los parámetros estimados de las propiedades fisicoquímicas.

PropertyName	Parameter	Estimated value	Units	Method
CRITICAL TEMPERATURE	TC	1618,73518	K	JOBACK
CRITICAL PRESSURE	PC	260229,62	N/SQM	JOBACK
CRITICAL VOLUME	VC	3,1195	CUM/KMOL	JOBACK
CRITICAL COMPRES.FAC	ZC	0,06031685		DEFINITI
IDEAL GAS CP AT 300 K		1248913,44	J/KMOL-K	BENSON
AT 500 K		1850903,73	J/KMOL-K	BENSON
AT 1000 K		2710150,84	J/KMOL-K	BENSON
STD. HT.OF FORMATION	DHFORM	-1,156E+09	J/KMOL	BENSON
STD.FREE ENERGY FORM	DGFORM	217490000	J/KMOL	JOBACK
ACENTRIC FACTOR	OMEGA	78,2454187		DEFINITI
LIQUID MOL VOL AT TB	VB	3709,83402	CUM/KMOL	GUNN-YAM
UNIQUAC R PARAMETER	GMUQR	37,6987475		BONDI
UNIQUAC Q PARAMETER	GMUQQ	30,468		BONDI
PARACHOR	PARC	2256,4		PARACHOR
LIQUID CP AT 298.15 K		1491694,68	J/KMOL-K	BLIZICKA

Ilustración 17 Resultados de la estimación de propiedades (Escalar).

Pure Component | **T-Dependent** | Binary | UNIFAC Group

Component: TG-TRILN Formula: C57H92O6

Estimated T-dependent parameters

PropertyName	Parameter	Estimated value	Units	Method
IDEAL GAS HEAT CAPACITY	CPIG	-33083,713	K,J/KMOL-K	BENSON
		5133,61819		
		-3,0721896		
		0,00068180		
		0		
		0		
		280		
		1100		
		36029,2		
		243,828241		
		1,5		
MOLAR VOLUME	RKTZRA	10,4958203		GUNN-YAM
VAPOR VISCOSITY	MUVDIP	7,3898E-09	K,N-SEC/SQMPREICHENB	
		1,00418223		
		0		

Ilustración 18 Resultados de la estimación de propiedades (Dependiente de la temperatura).

Por último, en la parte superior izquierda de la pantalla seleccionar **File** y hacer clic en **Save as** para guardar el compuesto creado, después, introducir el nombre, y en **Tipo** seleccionar la opción **Aspen Plus Backup File (*.bkp)**. Hacer clic en **Guardar** y luego en **No** (debido a que se da la opción de guardar en dos formatos), de esta forma, el compuesto quedará guardado solo en formato *.bkp para poder ser utilizado en una simulación posterior.

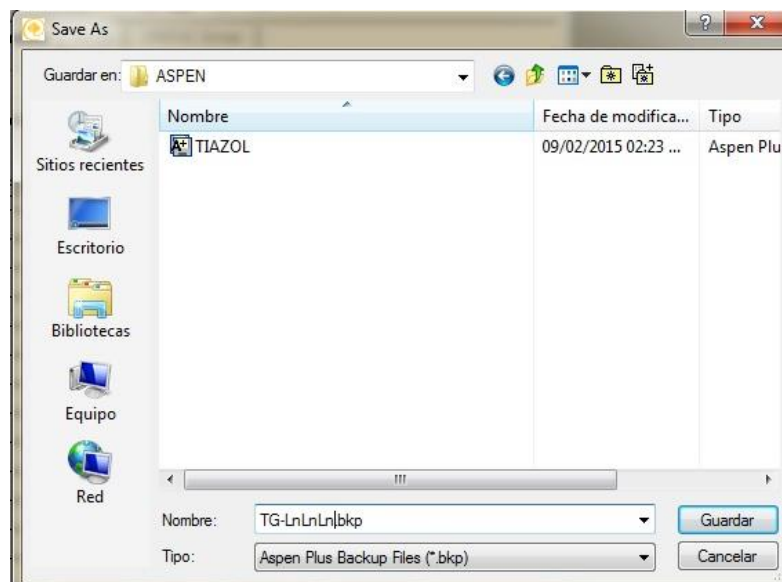


Ilustración 19 Ventana para guardar compuesto.

II. Simulación del proceso de extracción de aceite de sachá inchi con hexano (Extracción sólido-líquido)

En esta simulación se realizará el proceso de extracción de aceite de sachá inchi, partiendo de los triglicéridos creados en el anterior punto, para lo cual se utilizará el programa Aspen Plus:

- Cambiar el tipo de corrida (Run Type)
- Cambiar la clase de corriente (Stream class)
- Importar compuestos creados
- Cambiar el modelo termodinámico (Property method)
- Introducir propiedades de un compuesto no convencional

Una vez abierto el programa, el primer cuadro de diálogo que se encuentra se llama **Aspen Plus Startup**, pide seleccionar entre **Crear una Nueva Simulación Usando (Create a New Simulation Using)** a su vez con dos opciones: una **Simulación en blanco (Blank Simulation)** o **Plantilla (Template)**, y la opción de **Abrir Simulación Existente (Open an Existing Simulation)**. En la alternativa de Crear una nueva simulación se seleccionará **Plantilla (Template)** y luego hacer clic en **OK**.

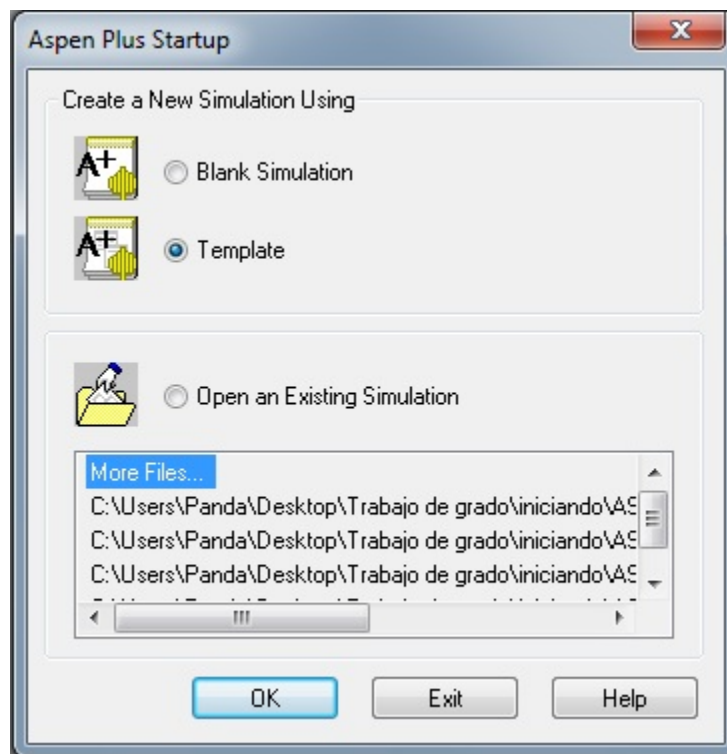


Ilustración 20 Cuadro de diálogo de apertura en Aspen Plus.

El siguiente cuadro de diálogo tiene dos pestañas: uno para las simulaciones y uno para las refinerías. Seleccionar la pestaña de **Simulación**. Después, en la esquina inferior derecha hay una lista desplegable llamada **Run Type**, luego elegir **Flowsheet**. Por último, se elegirá un tipo de proceso y las unidades en las que desea trabajar de la lista de opciones del cuadro de diálogo. Aquí se propone una simulación de Sólidos con las Unidades Internacionales (**Solids with Metric Units**). Todas estas opciones pueden ser modificadas posteriormente en el programa si lo desea.

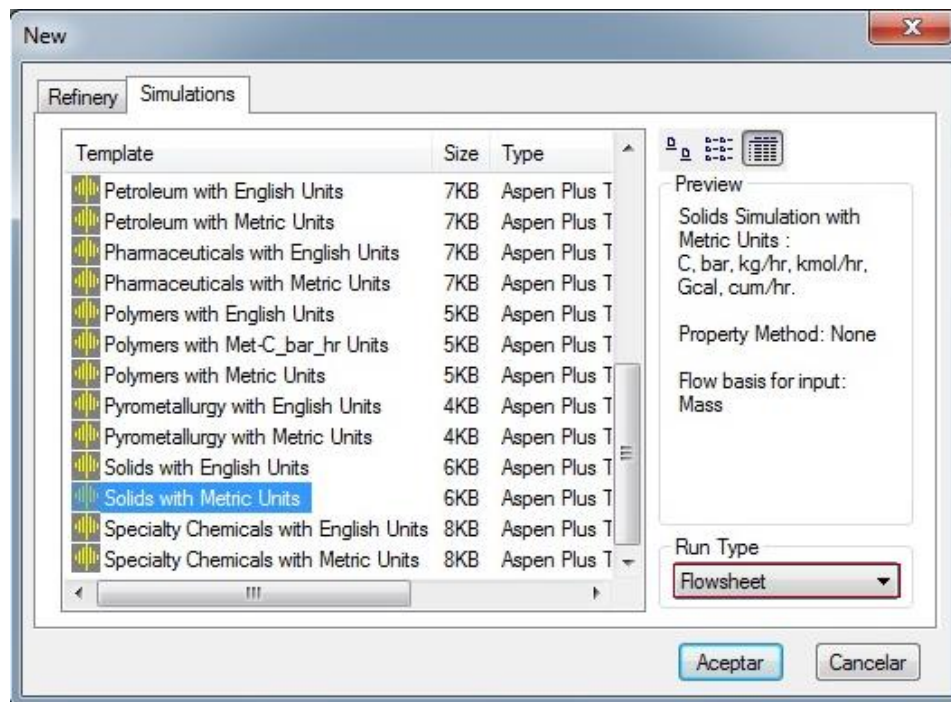



Ilustración 21 Segundo cuadro de diálogo en Aspen Plus con la selección del tipo de proceso y tipo de ejecución.

Ahora tendrá una ventana en blanco de simulación de procesos. Además, debe existir la serie de opciones de las operaciones unitarias denominada **Modelos de la Biblioteca** en la parte inferior del cuadro de diálogo. Si el Modelo de la Biblioteca no aparece, seleccione **Modelo de la Biblioteca** en el menú **Ver** en la parte superior de la página.

Para dibujar el modelo del proceso se deberán buscar los equipos que ha de utilizar y arrastrarlos hacia la ventana en blanco, allí se pueden modificar de tal forma que sean más grandes o pequeños y moverlos a través de la ventana, para esta simulación se selecciona una Mezcladora (**Mixer**), un Hidrociclón (**HyCyc**) y un Separador (**Flash**).

Una vez que los equipos estén ubicados dirigirse nuevamente al recuadro inferior **Modelos de la Biblioteca**, la primera opción de izquierda a derecha dice **STREAMS**, hacer clic en el ícono  que se encuentra inmediatamente a su derecha, tres opciones se mostrarán, seleccionar la que dice **Material**. Los equipos que ha seleccionado para el proceso tendrán flechas azules y rojas, algunas que entran a él y otras que salen de él, estas flechas rojas simbolizan salidas o entradas de agua y las azules entradas y salidas de materia. Debido a que el proceso no utiliza agua, las flechas azules serán las usadas. Al hacer clic izquierdo sobre cada número de Corriente y sobre cada número de Bloque, podrá cambiar los nombres de cada corriente y de cada equipo.

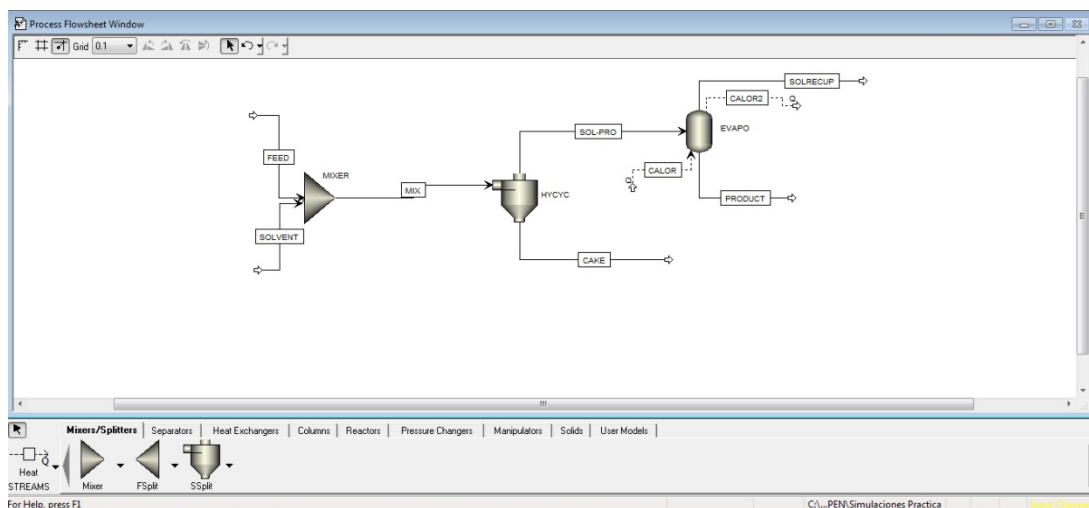



Ilustración 22 Diagrama del proceso completo.

Seleccionando el botón **Siguiente**  (o pulsando F4) le guiará a través de las diferentes etapas de la creación de una simulación. Dirigirse hacia la ventana de Especificación de los Componentes (**Components Specifications**), seleccionar **Components** de la lista de opciones, la cual abre una nueva ventana, en la que se podrá introducir los componentes, si conoce la fórmula, escriba esta en el campo **Nombre de Componente o Fórmula (Component Name or Formula)**, o el nombre en Inglés en el mismo campo si lo conoce; también podrá utilizar la tecla **Find**, y escribir la fórmula del compuesto y se presentará la lista de todos los componentes que se adaptan a la especificación.

En el campo **Componente ID**, especifique el nombre con el cual identificará al componente. En este caso el nombre se dejó tal y como lo muestra el programa.

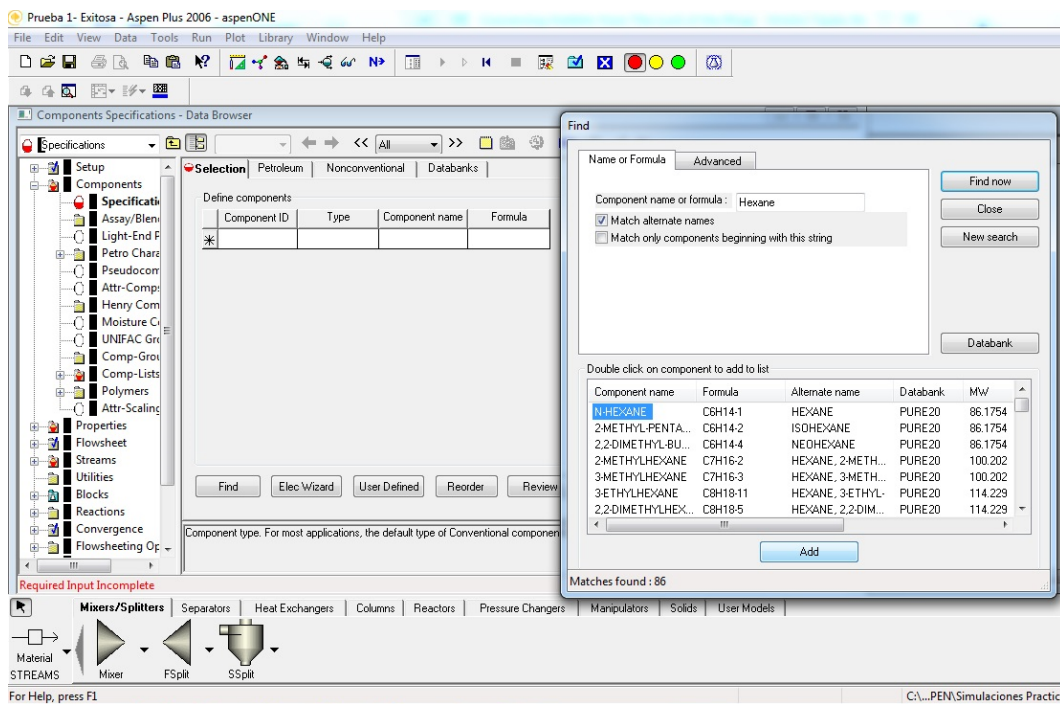


Ilustración 23 Ventana de especificación de los componentes.

En la misma ventana diríjase a la pestaña **Nonconventional** y en el recuadro escriba el nombre del compuesto no convencional, para este caso será **Cake**. Vuelva a la pestaña **Selection**.

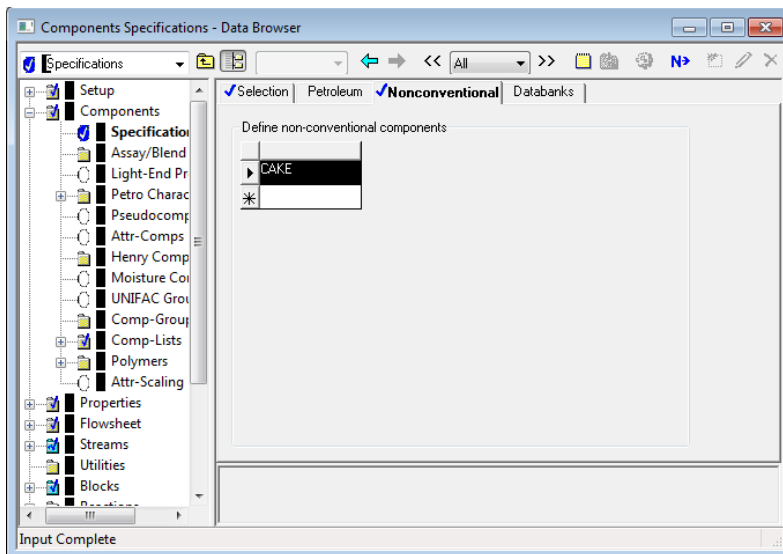


Ilustración 24 Ventana de definición de un compuesto no convencional.

En la barra de herramientas, seleccionar la opción **File** y luego la opción **Import**.

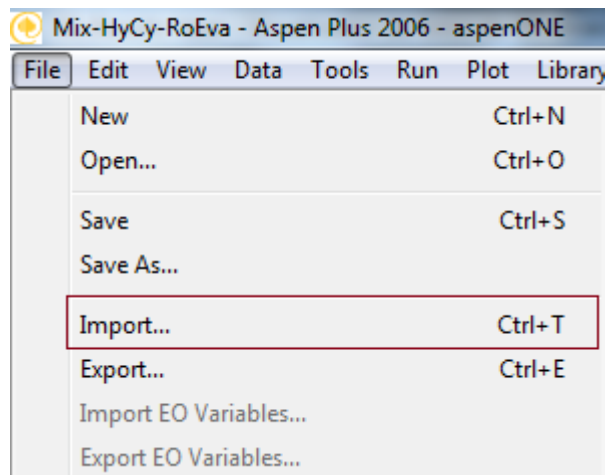


Ilustración 25 Pasos para importar un compuesto que no está en la base de datos.

Un nuevo cuadro de dialogo aparecerá para buscar los compuestos que fueron creados en el punto I de este manual. Cada triglicérido se deberá importar por separado.

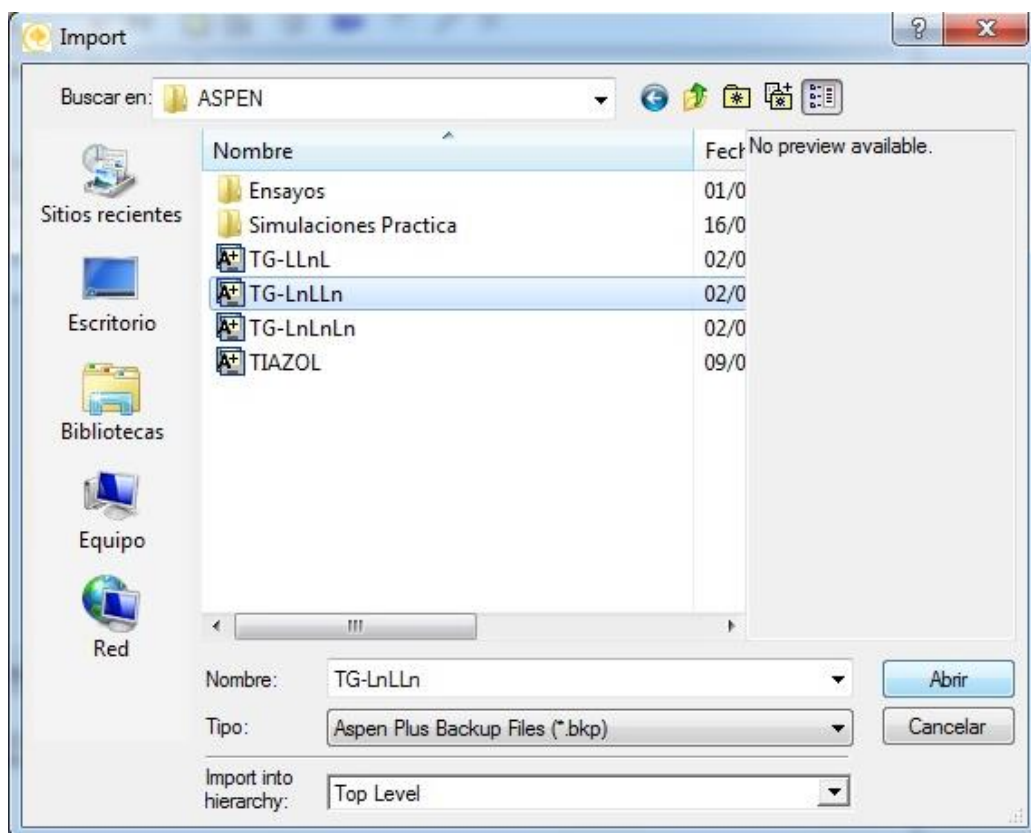


Ilustración 26 Ventana de selección del compuesto a importar.

Inmediatamente después, aparecerá un recuadro de conflictos de ID, en este punto se deberá editar cada Id que se encuentra en conflicto, en este caso se agregó un número al final de cada ID para cada triglicérido, es decir, para la trilinolenina se puso 1, para la Dililenil-linoleina el 2 y Dilinolel-linolenina el 3. Finalmente, hacer clic en **OK**.

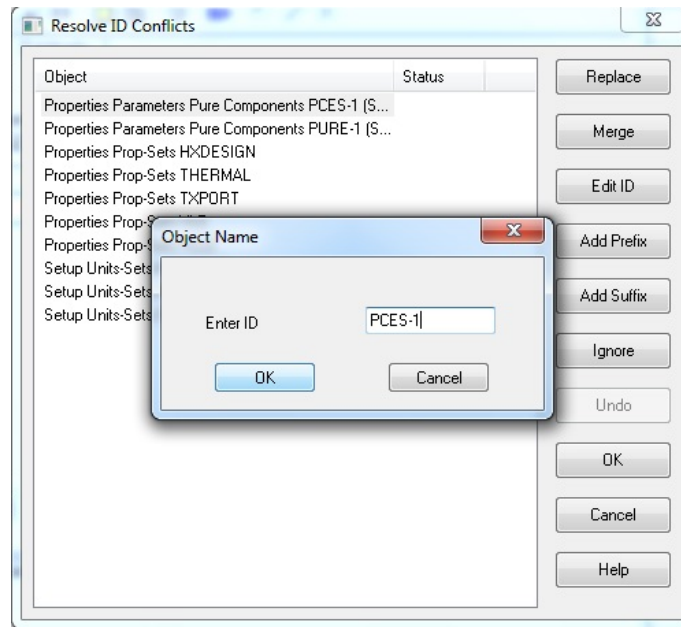


Ilustración 27 Ventana de resolución de conflictos de ID.

Una vez importados los tres triglicéridos, el **Flowsheet** desaparecerá, es decir, que la ventana donde se encuentra el esquema del proceso no será visible, esto es debido a que al importar los compuestos, el tipo de corrida se cambiará automáticamente a **Property Estimation**.

Diríjase a la lista de opciones de la izquierda y seleccione la opción **Setup**, en esta ventana se deberá modificar el tipo de corrida (**Run Type**) a **Flowsheet** y modifique la clase de corriente (**Stream Class**) a **MIXNCPSD**.

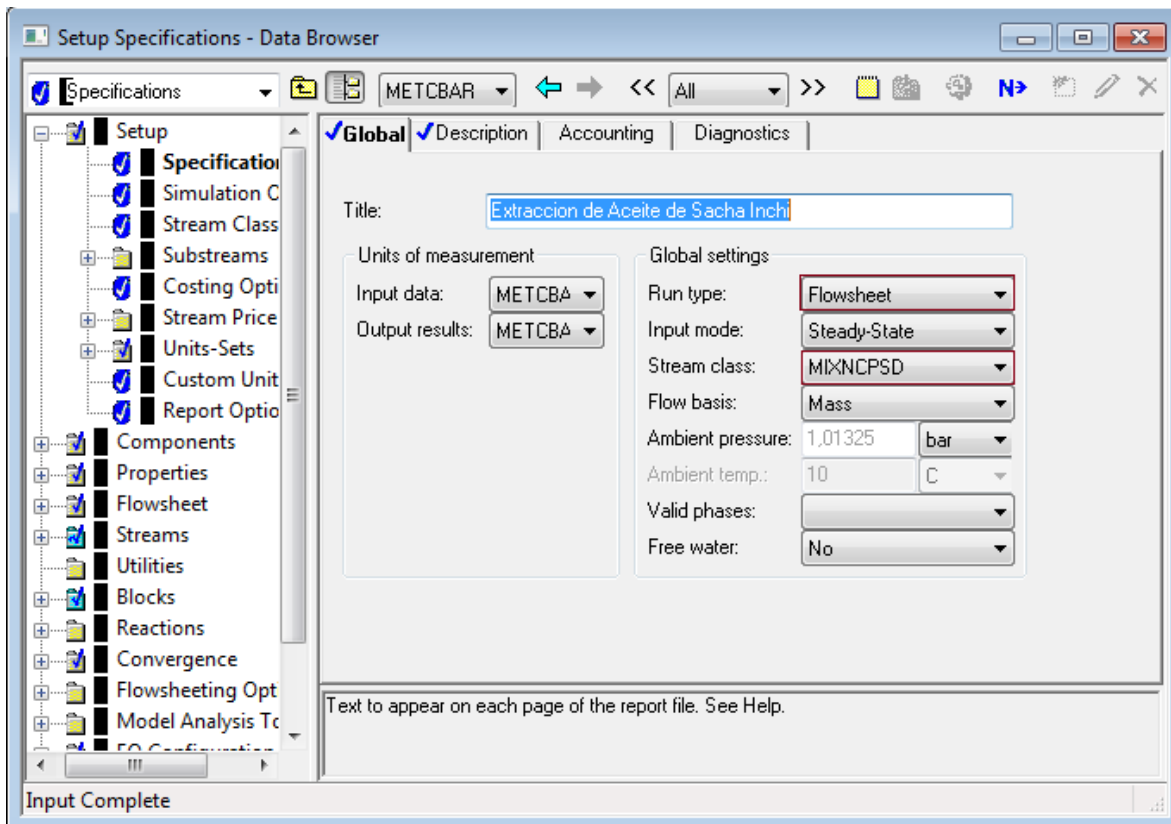


Ilustración 28 Ventana de selección de tipo de corrida (Run Type) y clase de corriente (Stream Class).

Ahora diríjase nuevamente a la lista de opciones de la izquierda y seleccione la opción **Properties** y luego **Estimation**. En esta ventana encontrará las opciones para estimar parámetros, en este caso marque la opción **Do not estimate any parameters**. Al seleccionar la opción anterior la ventana que contiene el esquema del proceso aparecerá nuevamente.

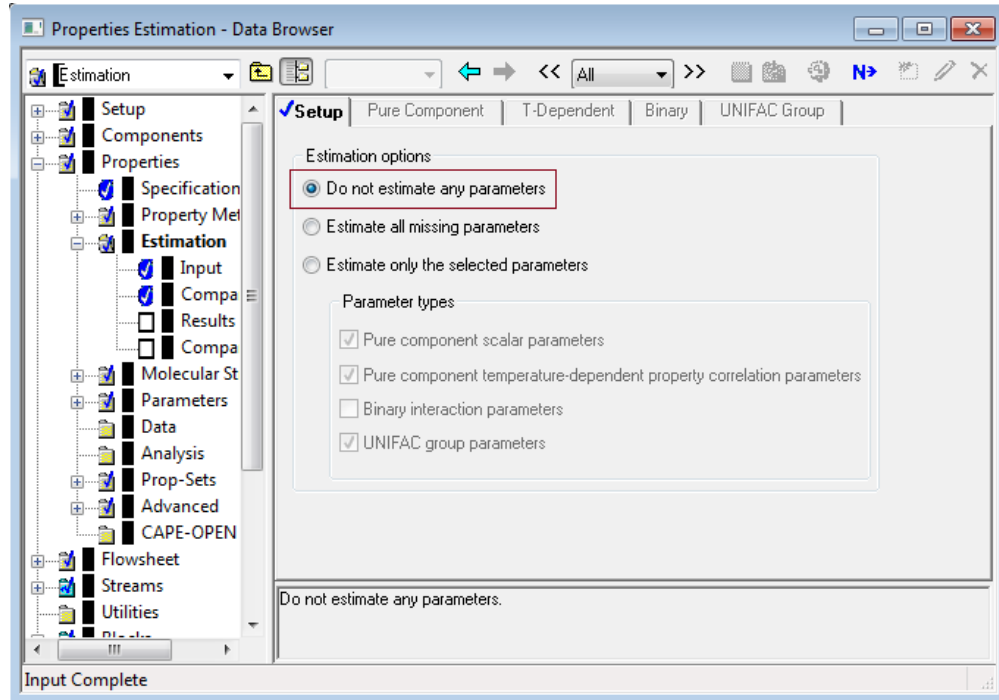


Ilustración 29 Ventana de opciones de estimación de parámetros.

En la lista de opciones de la izquierda seleccionar la opción **Properties**, en esta ventana podrá seleccionar el modelo termodinámico a usar. En la lista desplegable bajo **Property methods**, seleccione la opción **NRTL**.

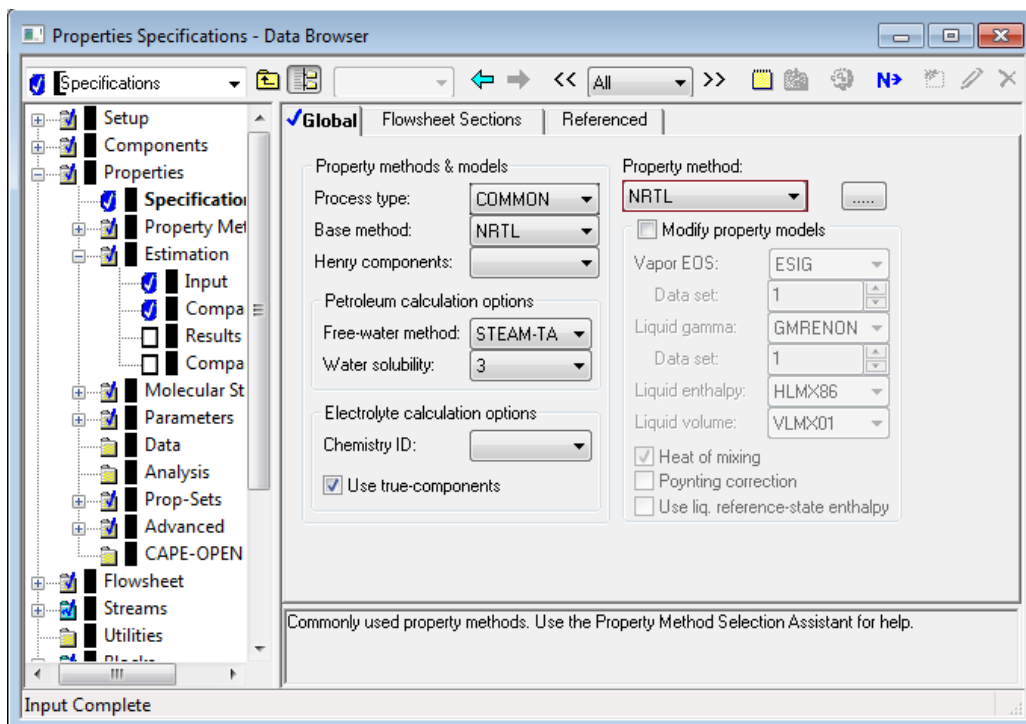


Ilustración 30. Ventana de selección del modelo termodinámico (Property method).

En la sublista de **Properties** seleccionar la opción **Advanced** y luego **NC Props**. En esta ventana se deberá determinar el modelo para fijar la **Entalpía (Enthalpy)** y la **Densidad (Density)** del compuesto no convencional. Para la **Entalpía** usar el modelo **ENTHGEN** y para la **Densidad** usar el modelo **DNSTYGEN**, ambos modelos requieren el atributo **GENANAL**, este atributo se usa para caracterizar un sólido no convencional en términos de porcentaje en peso de sus constituyentes.

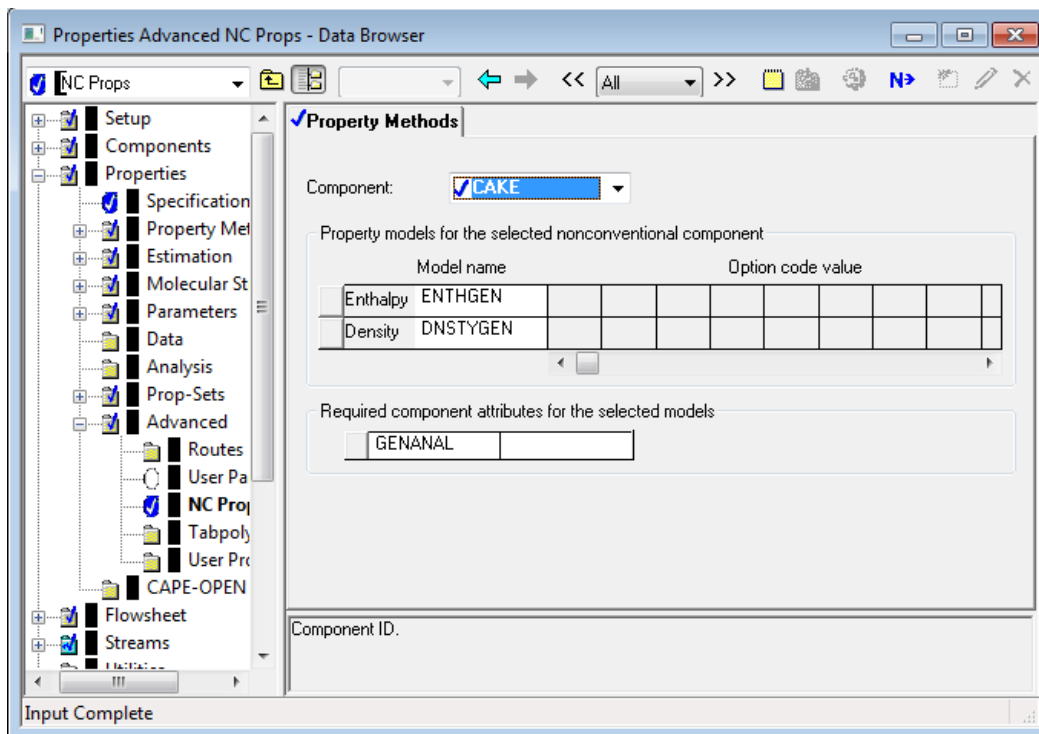


Ilustración 31 Ventana de propiedades avanzadas de un compuesto no convencional.

Diríjase a la lista de la izquierda y seleccione la opción **Parameters** y luego **Pure component**. Esta ventana tiene las opciones seleccionadas para determinar las propiedades de los triglicéridos y las del hexano. Haga clic en **New** y marque la opción **Nonconventional** para introducir los parámetros del compuesto **Cake**. Haga clic en **OK**.

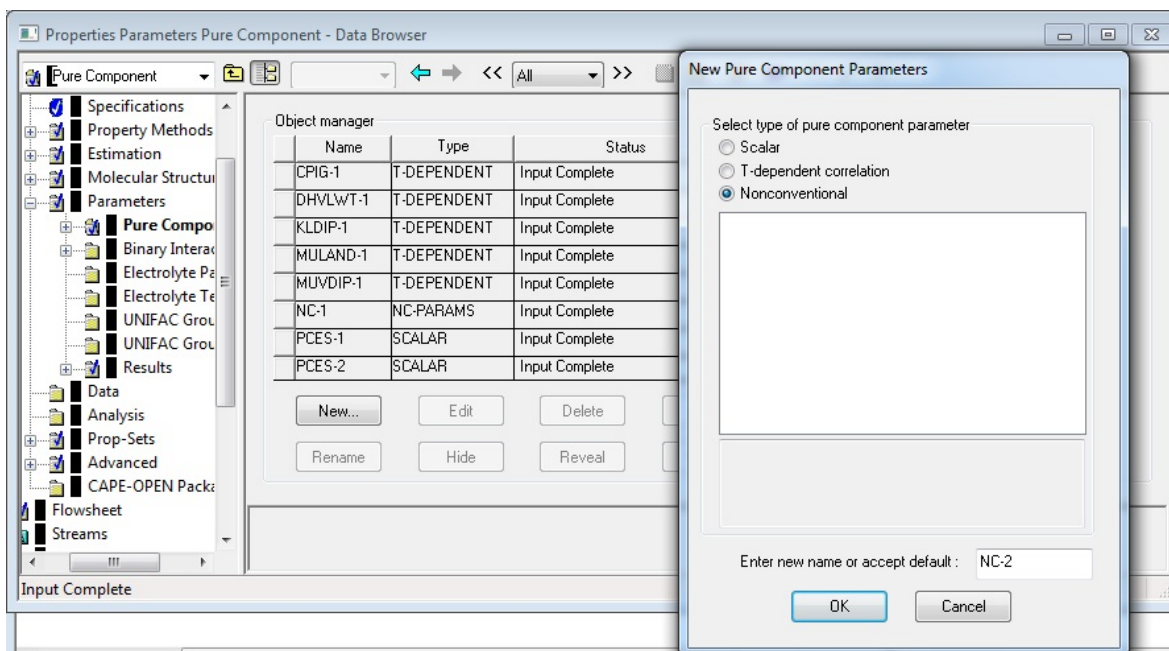


Ilustración 32 Ventana de selección de parámetros de un componente puro.

Una vez realizado lo anterior la ventana para introducir los parámetros de densidad y entalpía se mostrará. En la lista desplegable frente a **Parameter** seleccionar **DENGEN** y en la que está inmediatamente a su derecha seleccionar las unidades lb/cuft. En la lista desplegable que se encuentra bajo **Nonconventional component parameter** seleccionar el compuesto **Cake** y en el recuadro inferior escribir 80.

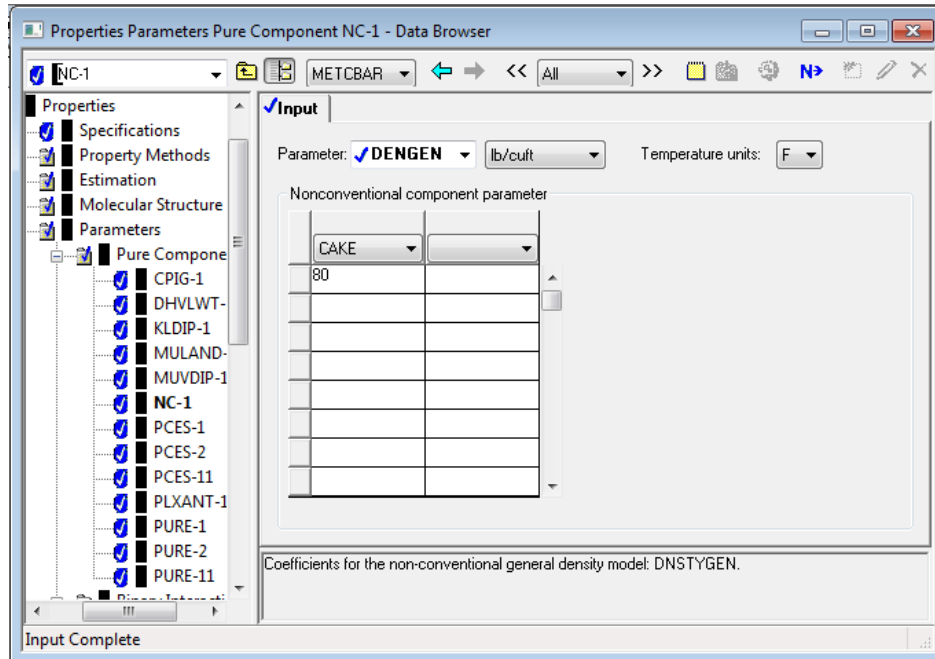


Ilustración 33 Ventana de introducción de parámetro de un compuesto no convencional (Densidad).

Ahora en la lista desplegable superior seleccionar la opción **HCGEN** con unidades Btu/lb-R, en la inferior nuevamente **Cake** y en el recuadro escriba 0,45.

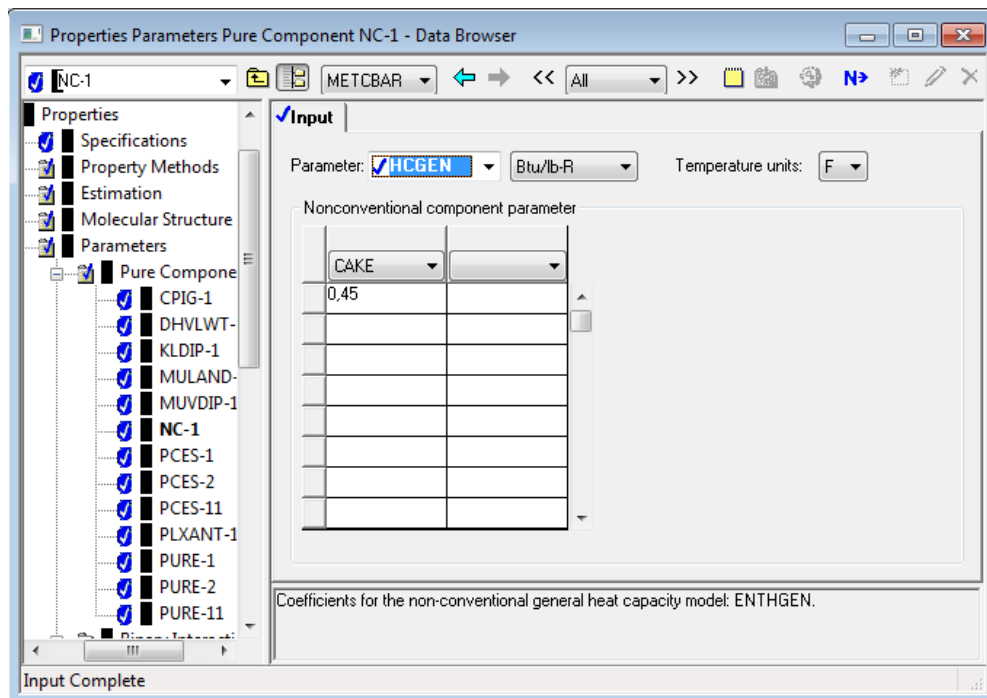


Ilustración 34 Ventana de introducción de parámetro de un compuesto no convencional (Entalpía).

De la lista de la izquierda seleccionar la opción **Stream** y luego la opción **Feed** (Nombre que se le dio a la corriente por la cual entra la semilla de sachá inchi triturada). En esta ventana se escoge la opción **MIXED** de la lista desplegable frente a **Substream name** y se procede a introducir los siguientes valores: **Temperatura (Temperature)** 30°C, **Presión (Pressure)** 1 atm, **Flujo total (Total flow)** 41 Kg/hr. Posteriormente la composición **Masa-Flujo (Mass-Flow)** de los tres triglicéridos: TG LnLnLn 14,16 Kg/hr, TG LnLLn 17,27 Kg/hr y TG LLnL 9,57 Kg/hr. Asegurese de que la suma de las masas de los compuestos sea igual al flujo total introducido.

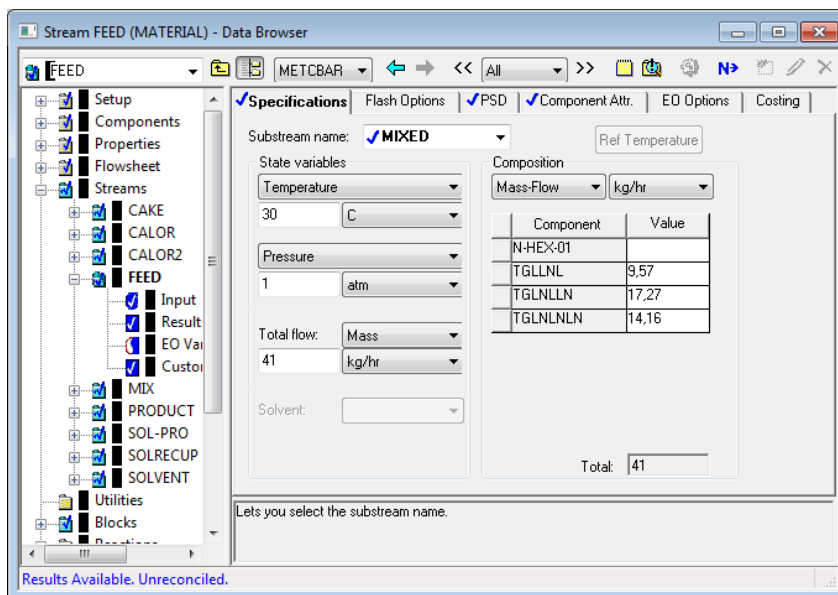


Ilustración 35 Ventana de especificación de la corriente de alimentación 1 (Mixed).

En la misma ventana anterior, cambiamos la opción de la lista desplegable de **MIXED** a **NCPSD**, nuevamente introducimos la misma presión y temperatura pero cambiamos el **Flujo total (Total flow)** por 59 Kg/hr. En este caso el único compuesto que aparece es el no convencional **Cake**, así que se introduce los mismos 59 Kg/hr.

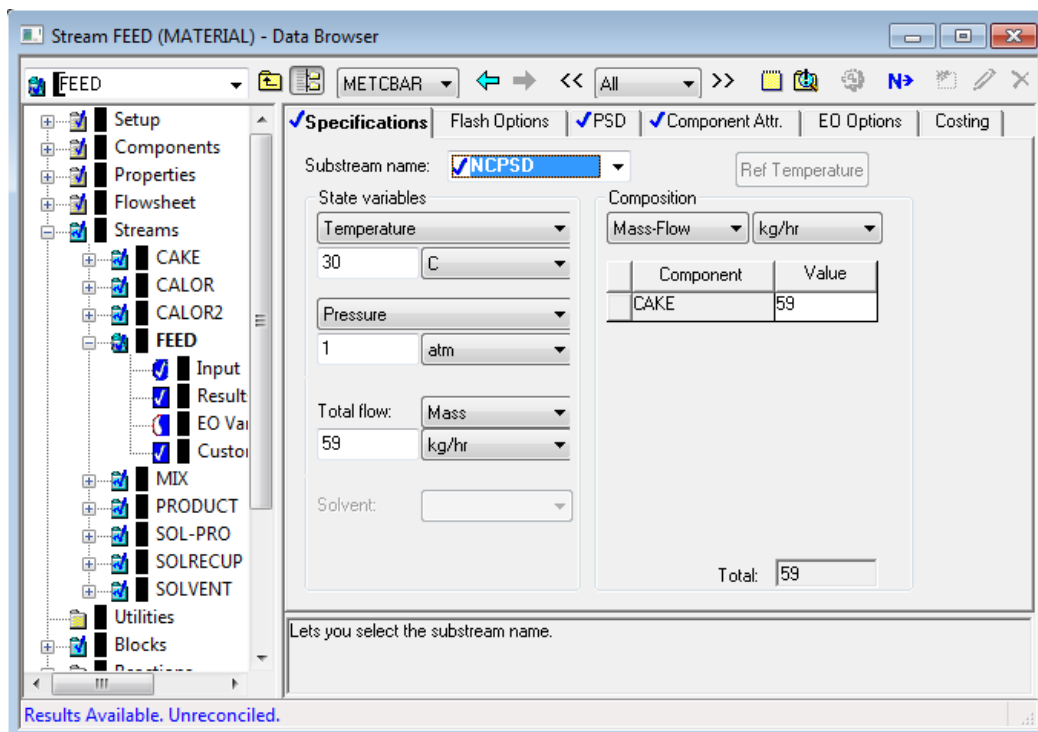


Ilustración 36 Ventana de especificación de la corriente de alimentación 1 (NCPSD).

Seleccionar la pestaña **PSD** y en el recuadro **Weight fraction** de los intervalos 7, 8, 9 y 10 introducir los valores 0.1, 0.2, 0.3 y 0.4, respectivamente. Esto dará un intervalo de la distribución del tamaño de partícula.

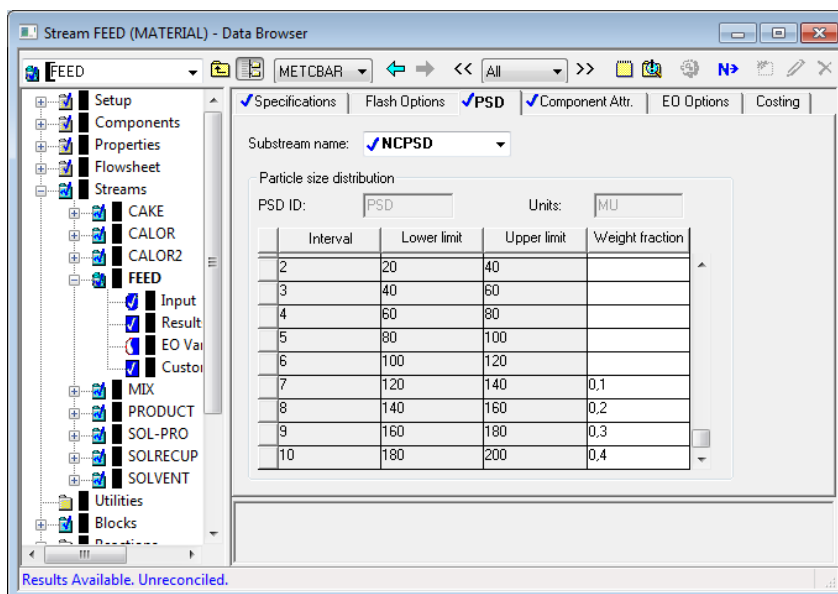


Ilustración 37 Ventana de especificación de la distribución de tamaño de partícula.

Seleccionar la pestaña **Component Attr.** Como **Substream name** seleccione la opción **NCPD** de la lista desplegable, como **Component ID** seleccione la opción **CAKE** y como **Attribute ID** seleccione **GENANAL**. (En este caso solo habrá una opción para el Component Id y para el Attribute ID ya que solo hay un compuesto no convencional y solo se seleccionó un atributo para este).

Cada componente no convencional puede ser caracterizado por 20 constituyentes. Por ejemplo, si va a caracterizar el papel como un compuesto no convencional, puede usar los primeros siete constituyentes de **GENANAL** para representar: Celulosa, Hemicelulosa, Lignina, Extractivos, Humedad e Inertes.

En esta simulación, se usará únicamente el primer constituyente, porque a pesar de que la torta de Sacha inchi posee otros componentes, estos no formaran parte de la extracción, ni se verán afectados por el solvente.

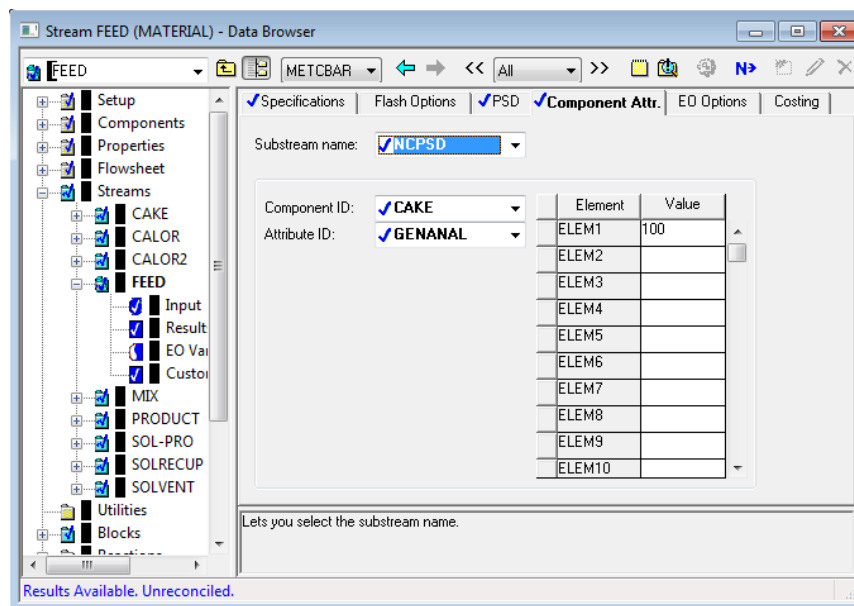


Ilustración 38 Ventana de especificación del atributo del compuesto no convencional.

Proceda a seleccionar la corriente **SOLVENT** de la lista de opciones de la izquierda. Al igual que la corriente **FEED** se introducen los mismos valores de **Temperatura** y **Presión**, y se introducen 200 Kg/hr como **Flujo total (Total flow)** y como composición **Masa-Flujo (Mass-Flow)**.

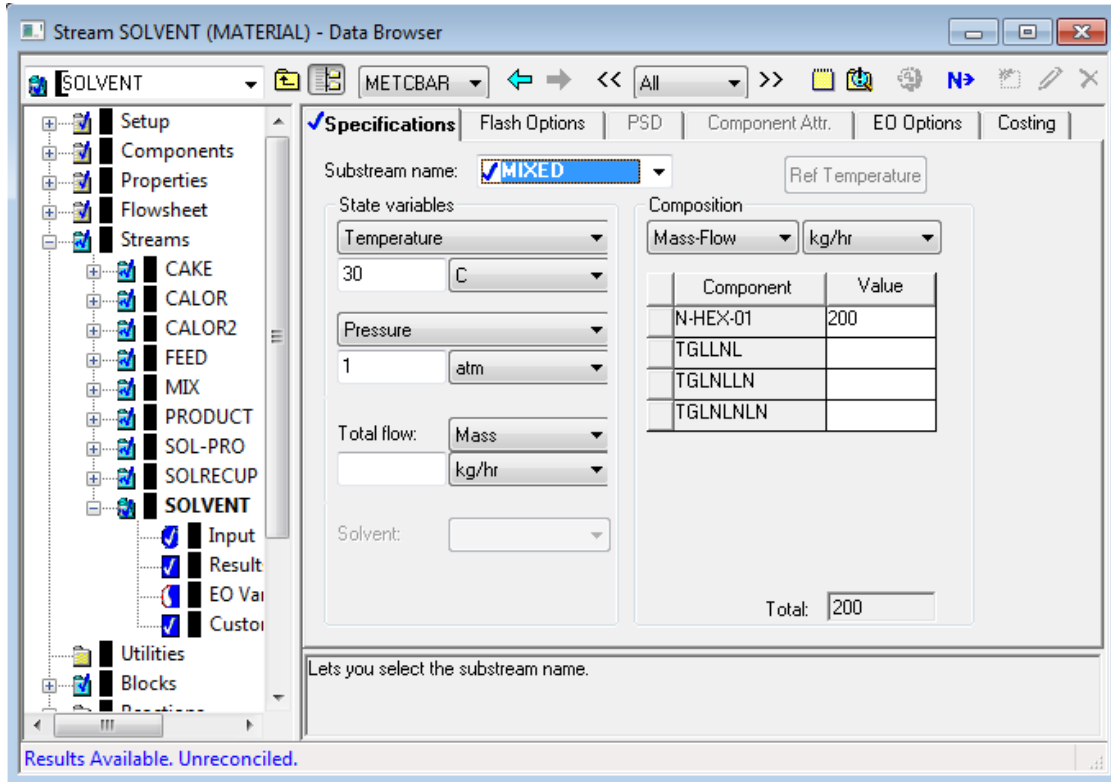


Ilustración 39 Ventana de especificación de la corriente de alimentación 2.

En la corriente **CALOR**, introduzca 30°C como **Temperatura de Inicio (Start Temperature)** y 50°C como **Temperatura Final (Final Temperature)**. Deje el espacio **Duty** en blanco ya que el programa por si solo calculará la cantidad de calor requerido para lograr el aumento de la temperatura.

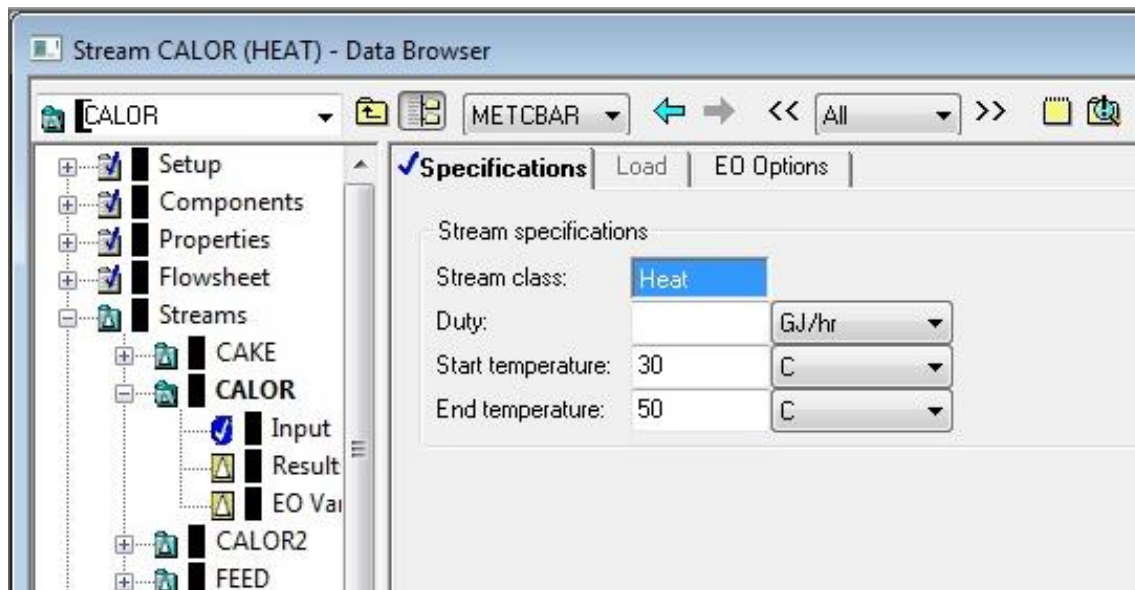


Ilustración 40 Ventana de especificación de cambio de temperatura.

Diríjase a la opción **Blocks** de la lista de opciones de la izquierda y seleccione **MIXER**. En esta ventana se introducen las especificaciones del mezclador. Debido a que solo se pretende incorporar el solvente junto con la semilla de la torta, la **Presión (Pressure)** se mantiene a 1 atmosfera y la **Temperatura estimada (Temperature estimate)** a 30°C.

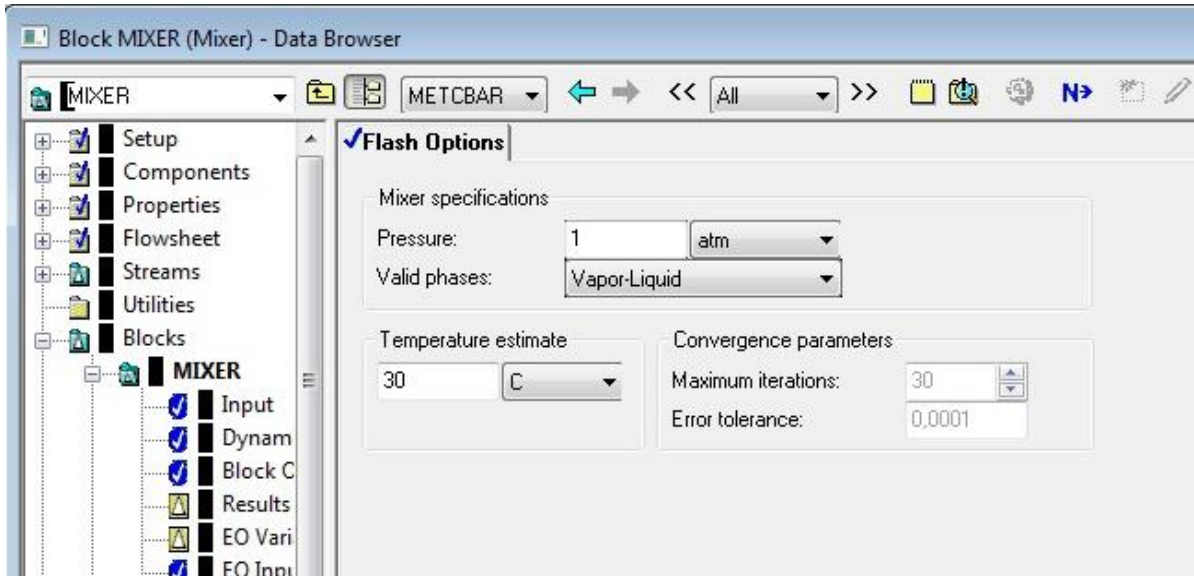


Ilustración 41 Ventana de especificación de parámetros del mezclador.

Se puede usar el **HyCyc** en modo simulación o en modo diseño, en este caso se usó el modo simulación en donde solo se introduce el **Diámetro (Diameter)** del equipo, el cual será de 1 m

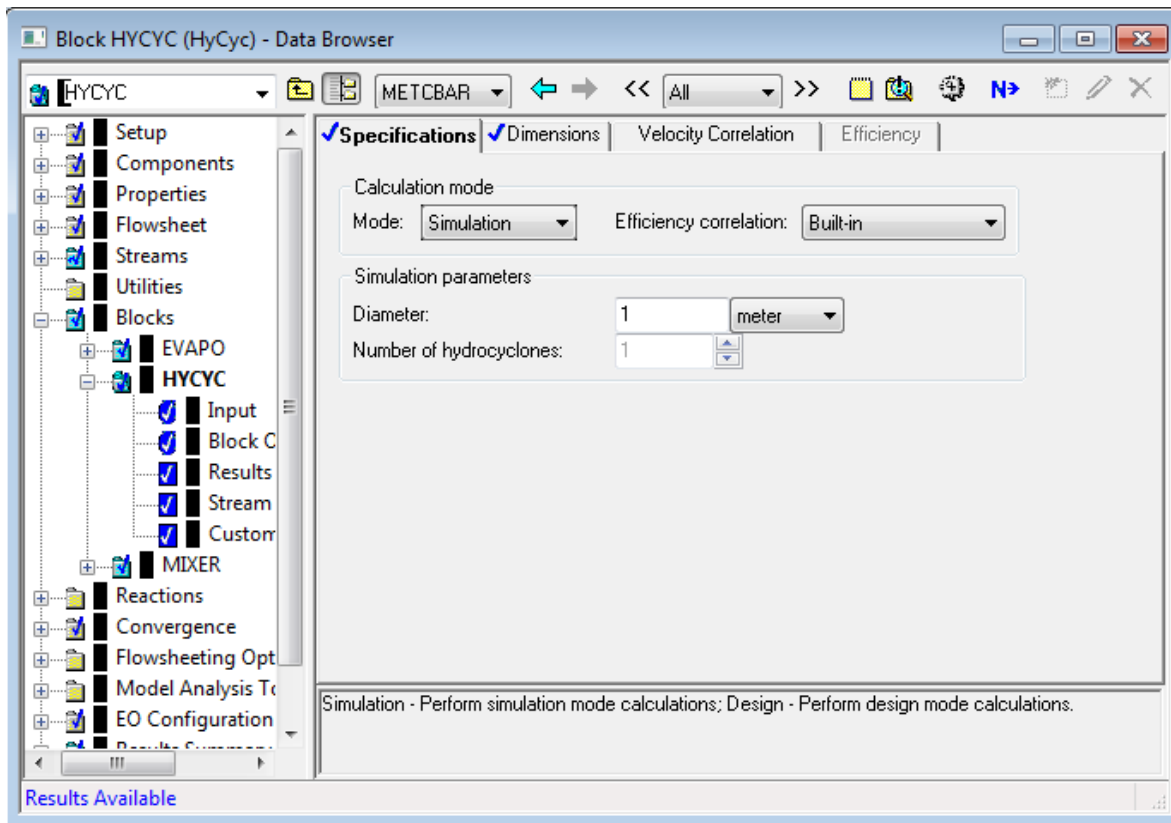


Ilustración 42 Ventana de especificación de los parámetros del hidrociclón.

En la pestaña **Dimensiones (Dimensions)**, se modifica el **Diámetro del Sobre flujo (Diameter of Overflow)** esto ayuda a que haya más producto líquido en la corriente **SOL-PROD**.

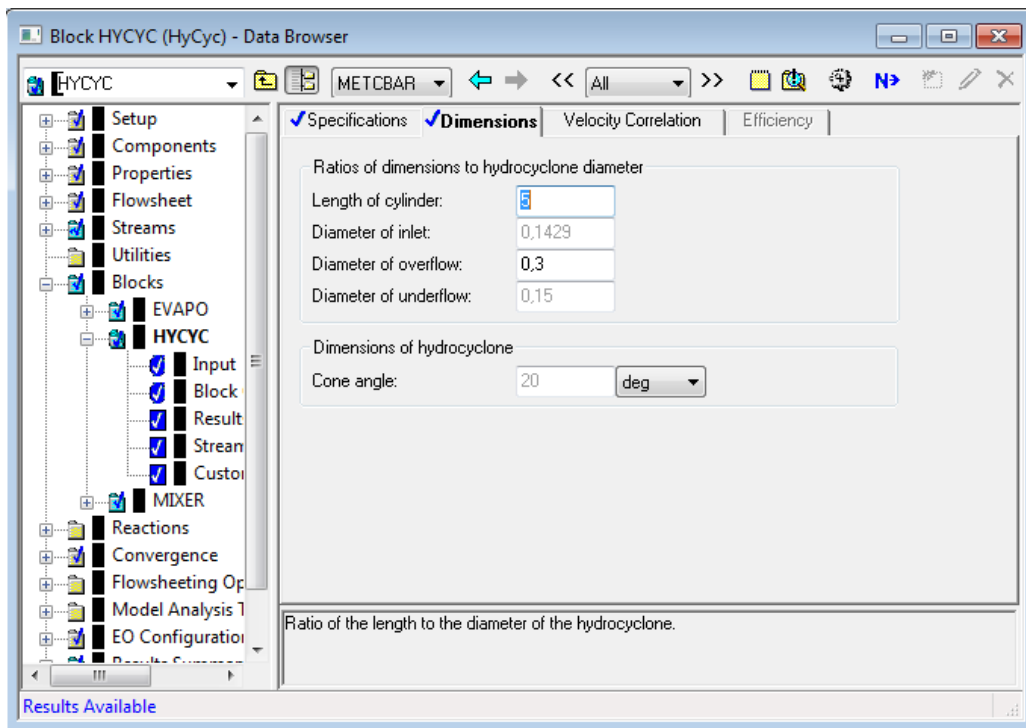


Ilustración 43 Ventana de especificación de las dimensiones del hidrociclón.

En la misma opción **Blocks** diríjase a especificar los parámetros del equipo restante, el evaporador. Introduzca 50°C para simular la **Temperatura (Temperature)** del baño María y 300 mbar de presión para simular la **Presión (Pressure)** de vacío del Hexano en el roto evaporador.

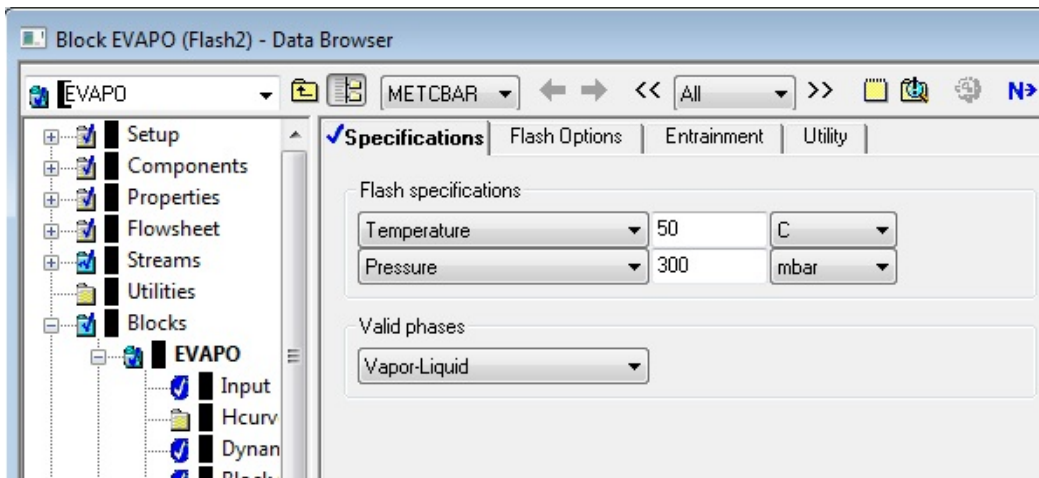



Ilustración 44 Ventana de especificación de parámetros del separador.

Para llevar la simulación a cabo presione el ícono **N** o la tecla F5. En el Panel de control se mostrará una descripción de la corrida y una vez terminado revelará **Simulations calculations completed**. En la parte superior de este recuadro se podrá observar el ícono . Este ícono nos indica que los resultados están listos y sin ningún contratiempo. Hacer clic en él. Posteriormente una nueva ventana aparecerá, donde se pueden apreciar los resultados obtenidos y los valores de cada corriente envuelta en el proceso.

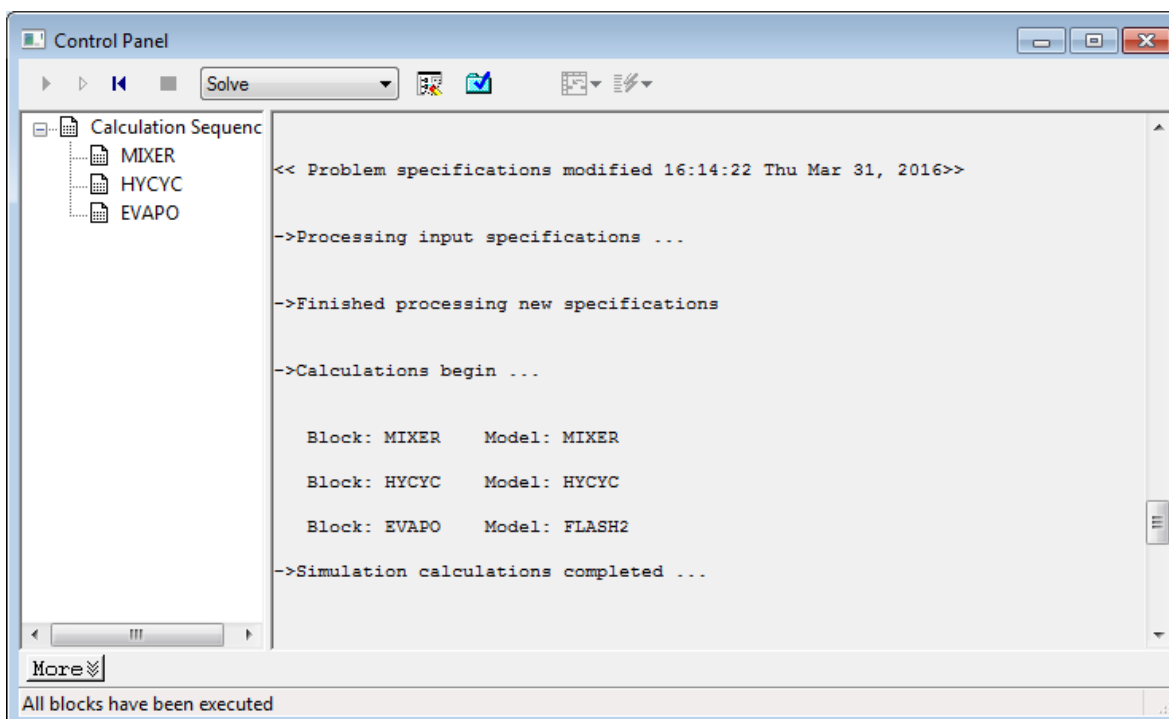


Ilustración 45 Panel de control de resultados.

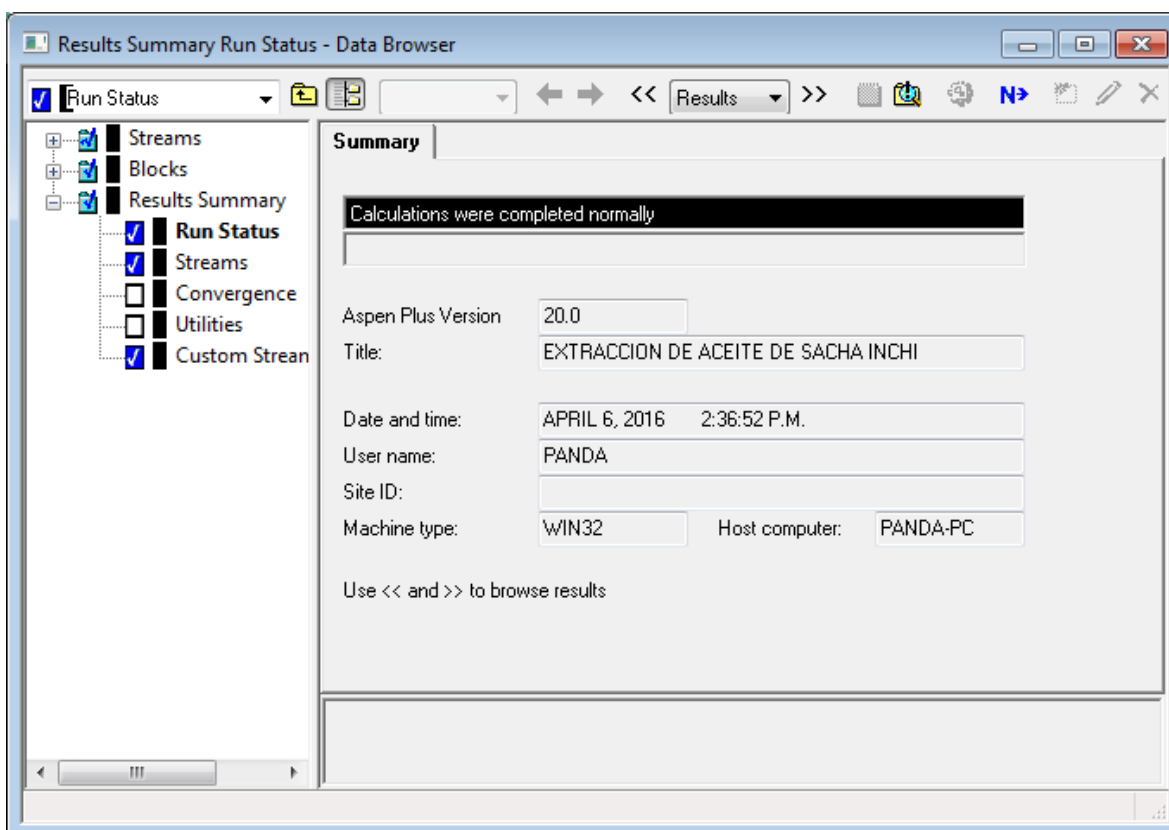


Ilustración 46 Ventana de resumen de la corrida.

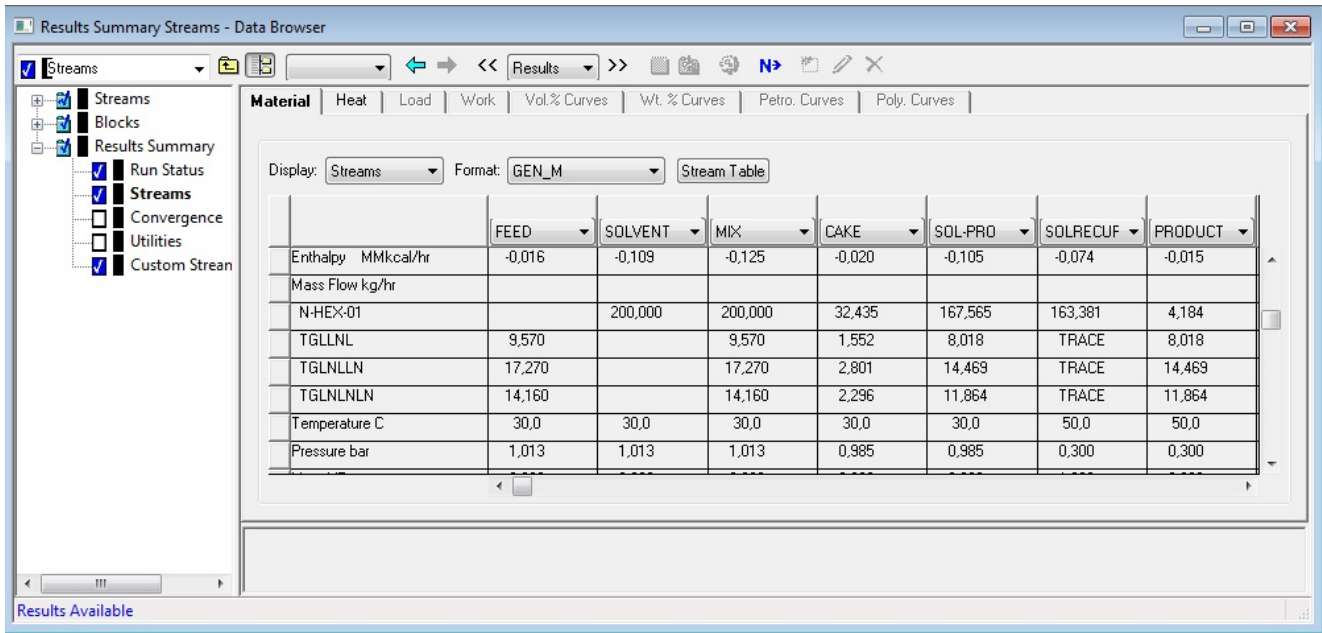


Ilustración 47 Ventana de resultados de materia en cada corriente.

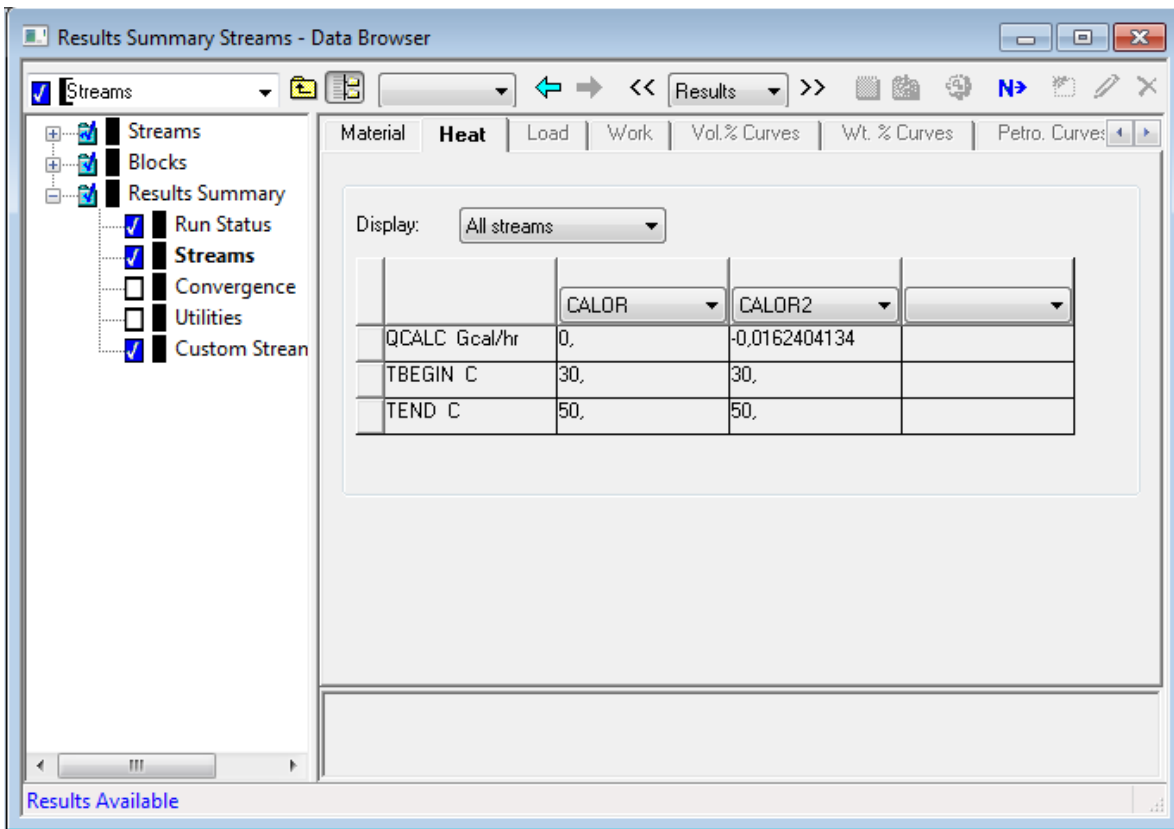


Ilustración 48 Ventana de resultados de calor.