

Caso 5

OBJETIVO

El objetivo es la separación de una mezcla de cuatro hidrocarburos en sus componentes individuales con una pureza superior al 98%. La corriente de alimentación se alimenta a 40°C 20 bar, y su composición es:

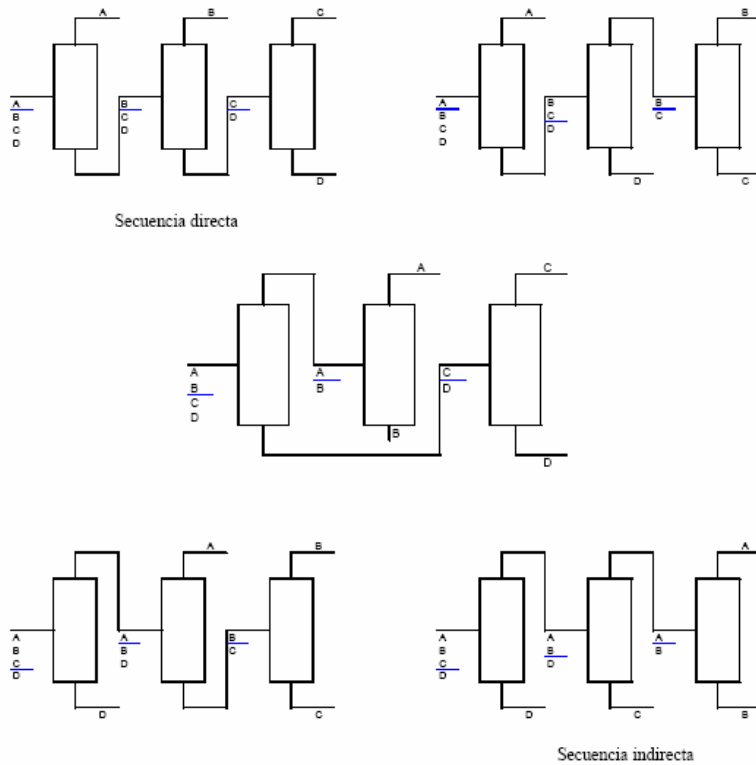
Propano:	100 Kmol/h
i-butano:	300 kmol/h
n-butano:	500 Kmol/h
i-pentano:	400 Kmol/h

Para la separación se dispone de 3 columnas diseñadas para trabajar entre 1-20 bares y la relación de reflujo máxima 10.

- a°) Justificar el esquema de separación más adecuado.
- b°) Determinar con modelos de destilación shortcut el mínimo número de pisos necesarios para realizar la separación de cada columna.
- c°) Determinar las condiciones de operación en cada columna de forma que se cumpla que cada una de las cuatro corrientes de productos tengan una pureza mínima del 98%.
- d°) Optimizar las condiciones de operación del sistema para minimizar el consumo energético de las columnas

PROCEDIMIENTO A:

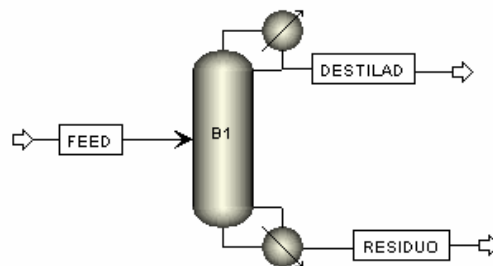
De todas las secuencias posibles:



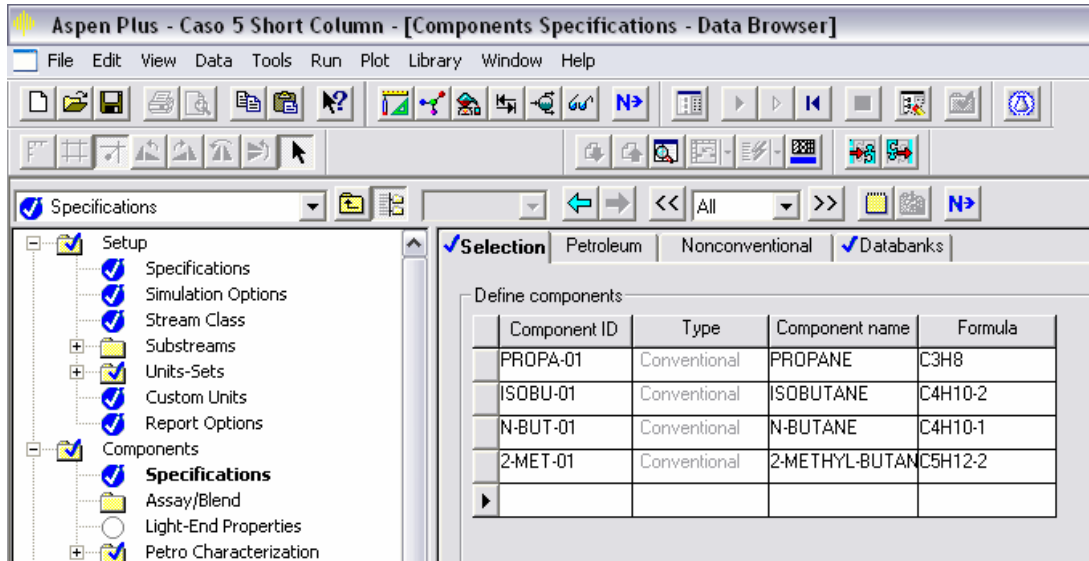
Se ha seleccionado la secuencia directa, por ser la más sencilla y permitir la separación de los productos finales uno a uno en el destilado. Además no existe ningún componente inestable o corrosivo, que haga necesario la separación de este componente en primer lugar.

PROCEDIMIENTO B:

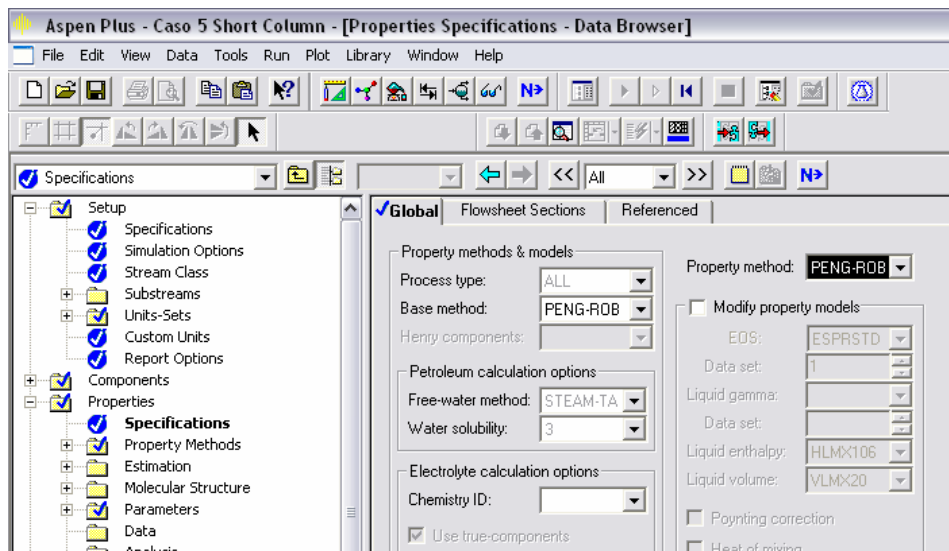
En primer lugar colocamos la Shortcut (DSTWU) y tres corrientes materiales (alimentación y dos salidas).



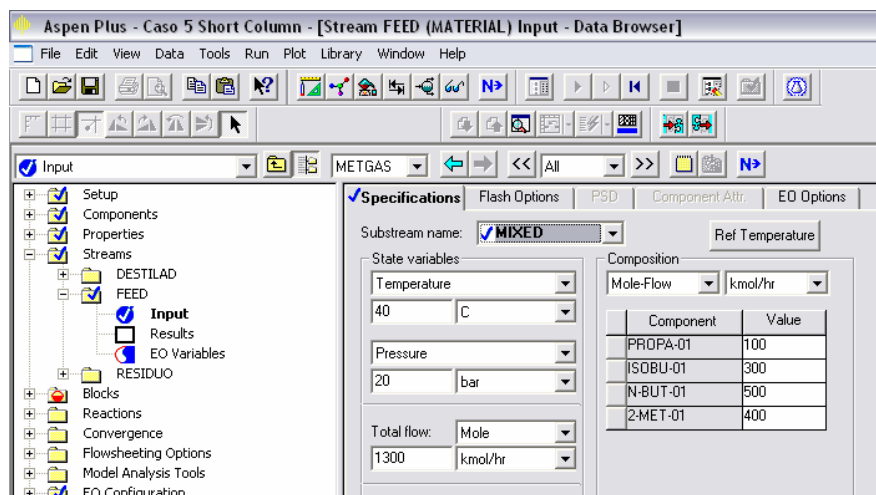
Posteriormente indicamos los componentes que intervienen en la simulación:



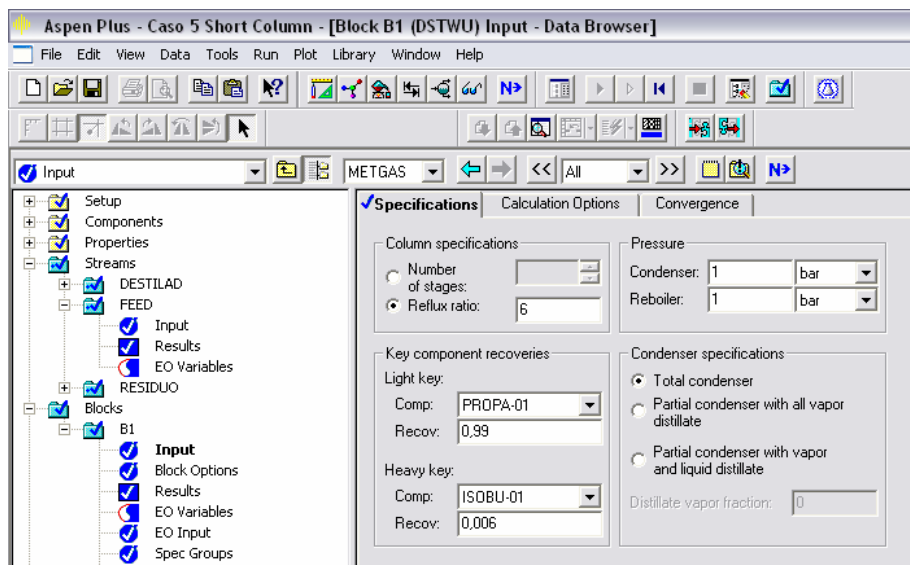
Luego indicamos el método de cálculo Peng-Robinson.



Posteriormente se indican las condiciones de la corriente de alimentación:

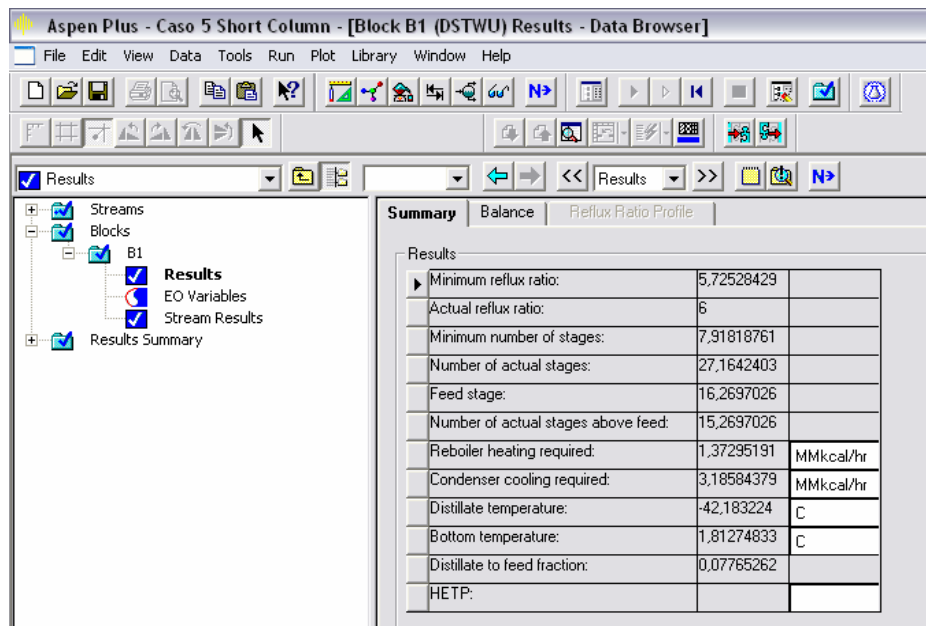


Después se indican las condiciones de la Shortcut. Pondremos una relación de reflujo de 6 (inferior al máximo, pero elevada para asegurarnos que puede cumplirse la especificación del 98 % de pureza). Luego se fija una recuperación del componente clave ligero (propano) del 0.99 (la adecuada para que la pureza sea superior al 98 %) y del clave pesado (i-butano) se fija una recuperación, por el destilado, baja (en este caso se ha considerado un 0.006). La presión del condensador y destilado se han considerado iguales (no hay pérdidas de rozamiento) y de valor 1 bar (a menor presión mejor es la separación).



Los resultados obtenidos son los siguientes:

Caso 5 ShortCut				
Stream ID		DESTILAD	FEED	RESIDUO
Temperature	C	-42,2	40,0	1,8
Pressure	bar	1,000	20,000	1,000
Vapor Frac		0,000	0,000	0,000
Mass Flow	tonne/hr	4,479	79,768	75,290
Volume Flow	cum/hr	7,659	142,059	123,381
Enthalpy	MMkcal/hr	-3,103	-47,969	-46,679
Density	kg/cum	584,789	561,517	610,222
Mole Flow	MMscmh			
PROPA-01		0,002	0,002	< 0,001
ISOBU-01		< 0,001	0,007	0,007
N-BUT-01		trace	0,011	0,011
2-MET-01			0,009	0,009
Mole Frac				
PROPA-01		0,981	0,077	834 PPM
ISOBU-01		0,018	0,231	0,249
N-BUT-01		0,001	0,385	0,417
2-MET-01			0,308	0,334
*** VAPOR PHASE ***				
Mole Flow				
Volume Flow				
Compressibility				
HeatCapRatio				



Aspen Plus - Caso 5 Short Column - [Block B1 (DSTWU) Results - Data Browser]

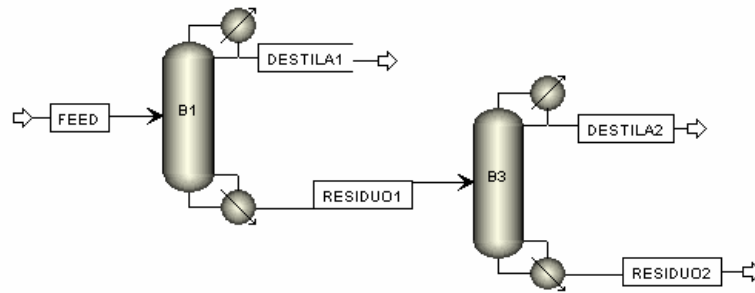
File Edit View Data Tools Run Plot Library Window Help

Results Summary

Summary		
Minimum reflux ratio:	5,72528429	
Actual reflux ratio:	6	
Minimum number of stages:	7,91818761	
Number of actual stages:	27,1642403	
Feed stage:	16,2697026	
Number of actual stages above feed:	15,2697026	
Reboiler heating required:	1,37295191	MMkcal/hr
Condenser cooling required:	3,18584379	MMkcal/hr
Distillate temperature:	-42,183224	C
Bottom temperature:	1,81274833	C
Distillate to feed fraction:	0,07765262	
HETP:		

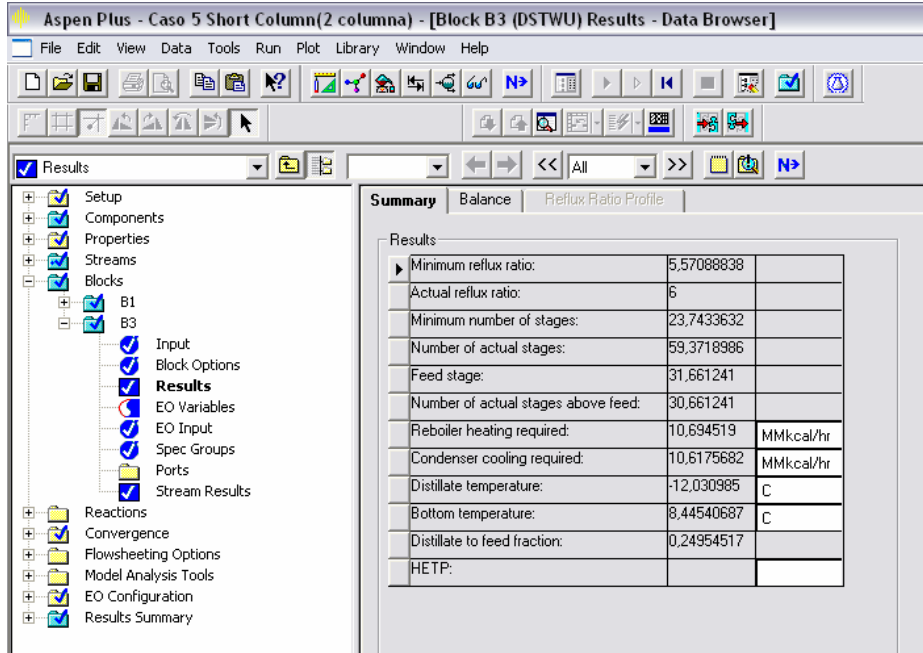
Como se observa el mínimo número de pisos necesarios para la separación, en esta primera columna es de 8 pisos.

Para seguir simulando la secuencia se coloca otra Shortcut (DSTWU) conectada a la corriente de residuo obtenida.



Luego hay que considerar las condiciones de esta segunda columna. Se ha considerado una relación de reflujo de 6 (inferior al máximo, pero elevada para asegurarnos que puede cumplirse la especificación del 98 % de pureza). Luego se fija una recuperación del componente clave ligero (i-butano) del 0.99 (la adecuada para que la pureza sea superior al 98 %) y del clave pesado (n-butano) se fija una recuperación, por el destilado, baja (en este caso se ha considerado un 0.006). La presión del condensador y destilado se han considerado iguales (no hay pérdidas de rozamiento) y de valor 1 bar (a menor presión mejor es la separación). Los resultados obtenidos son:

Caso 5 ShortCut						
Stream ID		DESTILA1	DESTILA2	FEED	RESIDUO1	RESIDUO2
Temperature	C	-42,2	-12,0	40,0	1,8	8,4
Pressure	bar	1,000	1,000	20,000	1,000	1,000
Vapor Frac		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mass Flow	tonne/hr	4,479	17,378	79,768	75,290	57,912
Volume Flow	cum/hr	7,659	29,187	142,059	123,381	94,533
Enthalpy	MM kcal/hr	-3,103	-11,404	-47,969	-46,679	-35,197
Density	kg/cum	584,789	595,388	561,517	610,222	612,616
Mole Flow	MM scmh					
PROPA-01		0,002	< 0,001	0,002	< 0,001	trace
ISOBU-01		< 0,001	0,007	0,007	0,007	< 0,001
N-BUT-01		trace	< 0,001	0,011	0,011	0,011
2-MET-01			trace	0,009	0,009	0,009
Mole Frac						
PROPA-01		0,981	0,003	0,077	834 PPM	trace
ISOBU-01		0,018	0,987	0,231	0,249	0,003
N-BUT-01		0,001	0,010	0,385	0,417	0,552
2-MET-01			1 PPM	0,308	0,334	0,445
*** VAPOR PHASE ***						
Mole Flow						
Volume Flow						
Compressibility						
HeatCapRatio						



Aspen Plus - Caso 5 Short Column(2 columna) - [Block B3 (DSTWU) Results - Data Browser]

File Edit View Data Tools Run Plot Library Window Help

Results

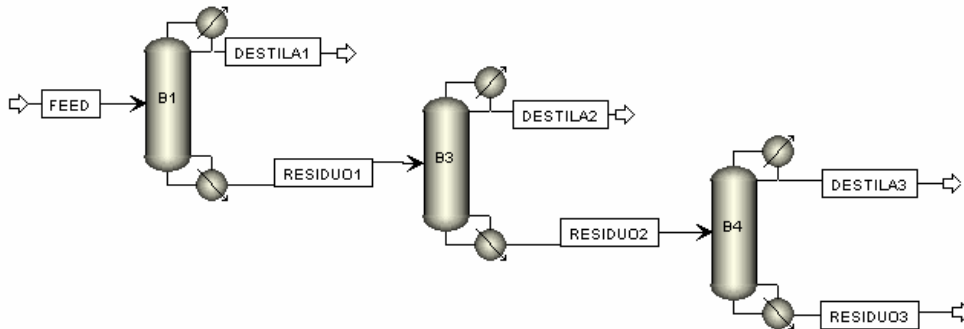
Summary Balance Reflux Ratio Profile

Results

Minimum reflux ratio:	5.57088838	
Actual reflux ratio:	6	
Minimum number of stages:	23.7433632	
Number of actual stages:	59.3718986	
Feed stage:	31.661241	
Number of actual stages above feed:	30.661241	
Reboiler heating required:	10.694519	MMkcal/hr
Condenser cooling required:	10.6175682	MMkcal/hr
Distillate temperature:	-12.030985	C
Bottom temperature:	8.44540687	C
Distillate to feed fraction:	0.24954517	
HETP:		

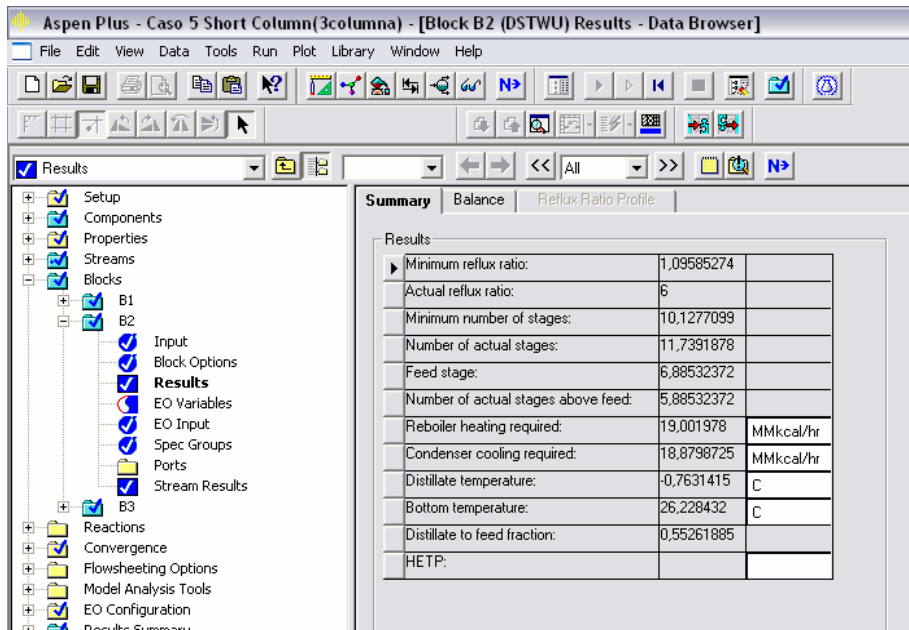
El número de pisos mínimos es de 24 pisos, para esta segunda columna.

Para seguir simulando la secuencia se coloca otra Shortcut (DSTWU) conectada a la corriente de residuo obtenida de la segunda columna.



Luego hay que considerar las condiciones de esta tercera columna. Se ha considerado una relación de reflujo de 6 (inferior al máximo, pero elevada para asegurarnos que puede cumplirse la especificación del 98 % de pureza). Luego se fija una recuperación del componente clave ligero (n-butano) del 0.99 (la adecuada para que la pureza sea superior al 98 %) y del clave pesado (i-pentano) se fija una recuperación, por el destilado, baja (en este caso se ha considerado un 0.006). La presión del condensador y destilado se han considerado iguales (no hay pérdidas de rozamiento) y de valor 1 bar (a menor presión mejor es la separación). Los resultados obtenidos son:

Caso 5 ShortCut								
Stream ID		DESTILA1	DESTILA2	DESTILA3	FEED	RESIDUO1	RESIDUO2	RESIDUO3
Temperature	C	-42,2	-12,0	-0,8	40,0	1,8	8,4	26,2
Pressure	bar	1,000	1,000	1,000	20,000	1,000	1,000	1,000
Vapor Frac		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mass Flow	tonne/hr	4,479	17,378	28,936	79,768	75,290	57,912	28,976
Volume Flow	cum/hr	7,659	29,187	47,980	142,059	123,381	94,533	47,136
Enthalpy	MMkcal/hr	-3,103	-11,404	-17,948	-47,969	-46,679	-35,197	-17,127
Density	kg/cum	584,789	595,388	603,093	561,517	610,222	612,616	614,726
Mole Flow	MMscmh							
PROPA-01		0,002	< 0,001		0,002	< 0,001	trace	
ISOBU-01		< 0,001	0,007	< 0,001	0,007	0,007	< 0,001	trace
N-BUT-01		trace	< 0,001	0,011	0,011	0,011	0,011	< 0,001
2-MET-01			trace	< 0,001	0,009	0,009	0,009	0,009
Mole Frac								
PROPA-01		0,981	0,003		0,077	834 PPM	trace	
ISOBU-01		0,018	0,987	0,006	0,231	0,249	0,003	2 PPM
N-BUT-01		0,001	0,010	0,989	0,385	0,417	0,552	0,012
2-MET-01			1 PPM	0,005	0,308	0,334	0,445	0,988
*** VAPOR PHASE ***								
Mole Flow								
Volume Flow								
Compressibility								
Heat CapRatio								

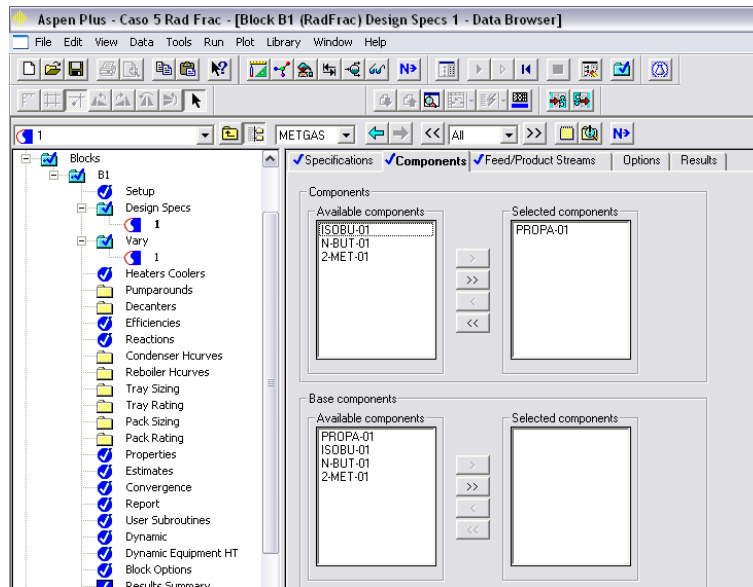
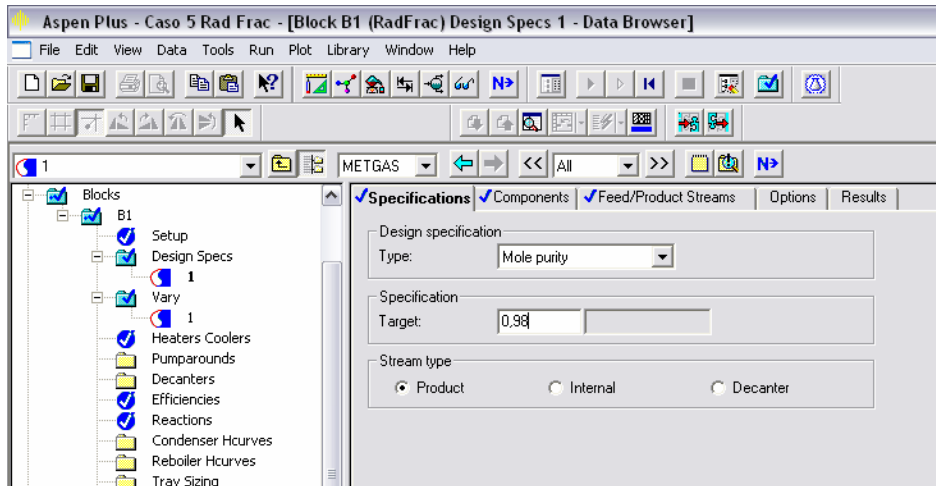


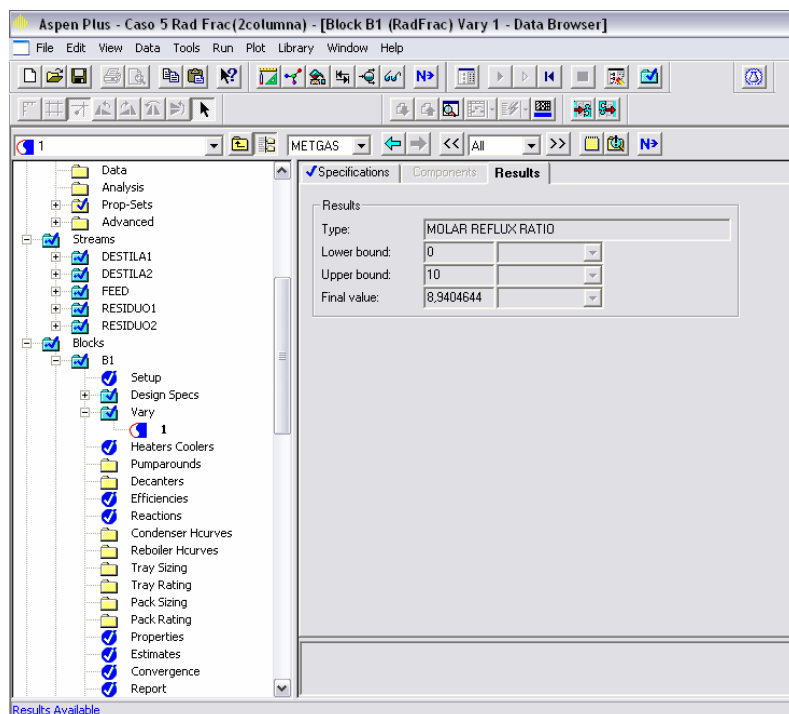
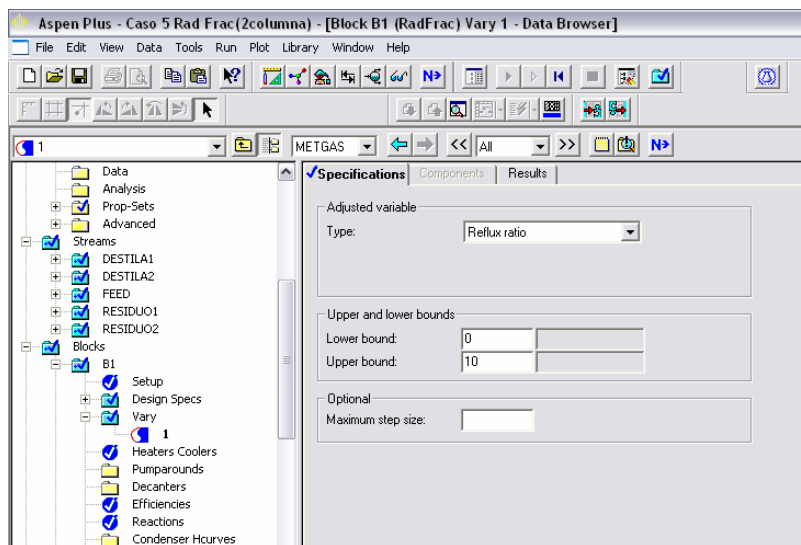
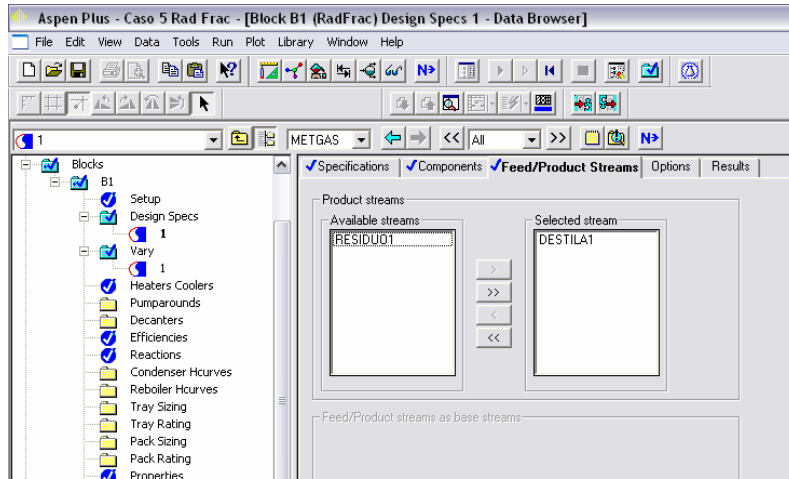
El número de pisos mínimos es de 11 pisos, para esta tercera columna.

PROCEDIMIENTO C:

Para conocer las condiciones de operación de la columna se hace la simulación con una columna RadFrac, utilizando los datos obtenidos en la ShortCut (número de pisos, relación destilado/carga y relación de reflujo).

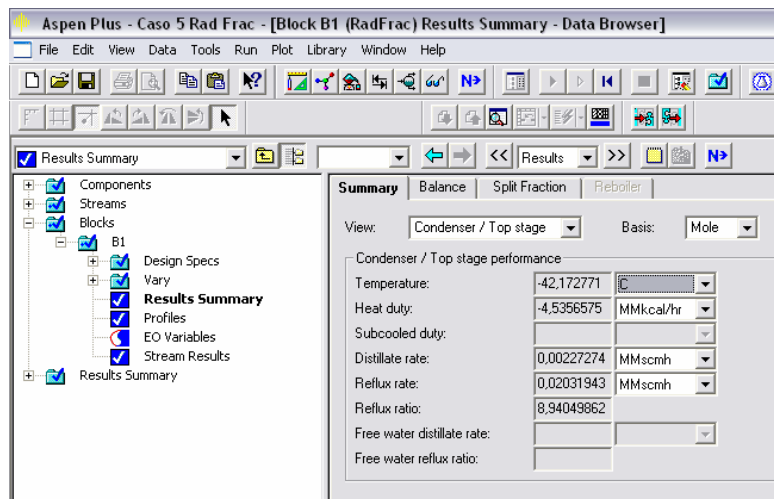
Para la primera columna se considera un número de pisos de 30 (28 + 2), D/F → 0.078, relación de reflujo de 6. Se resuelve y se observa que no se consigue la pureza requerida. Para conseguir que la pureza sea de 0.98, se realiza un DESIGN SPECS. Como especificación se considera una pureza de 0.98, de Propano, en la corriente de destilado. Como variable que permitimos cambiar para conseguir la pureza, indicamos la relación de reflujo. El intervalo en el que permitimos que varíe es entre 0 y 10.





Los resultados obtenidos son:

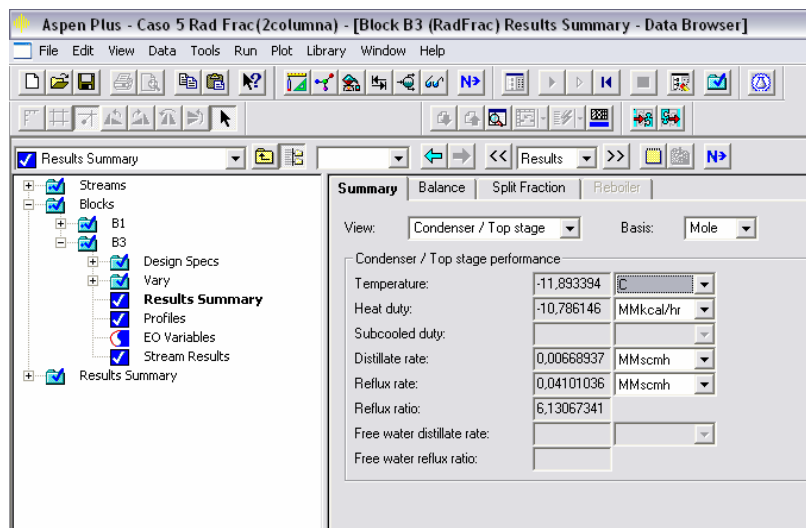
Caso 5 ShortCut				
Stream ID		DESTILA 1	FEED	RESIDUO 1
Temperature	C	-42,2	40,0	1,8
Pressure	bar	1,000	20,000	1,000
Vapor Frac		0,000	0,000	0,000
Mass Flow	tonne/hr	4,500	79,768	75,269
Volume Flow	cum/hr	7,695	142,059	123,349
Enthalpy	MMkcal/hr	-3,118	-47,969	-46,663
Density	kg/cum	584,783	561,517	610,207
Mole Flow	MMscmh			
PROPA-01		0,002	0,002	< 0,001
ISOBU-01		< 0,001	0,007	0,007
N-BUT-01		trace	0,011	0,011
2-MET-01		trace	0,009	0,009
Mole Frac				
PROPA-01		0,980	0,077	524 PPM
ISOBU-01		0,020	0,231	0,249
N-BUT-01		43 PPM	0,385	0,417
2-MET-01		trace	0,308	0,334
*** VAPOR PHASE ***				
Mole Flow				
Volume Flow				
Compressibility				
HeatCapRatio				



Para la segunda columna se considera un número de pisos de 62 (60 + 2), $D/F \rightarrow 0.2498$, relación de reflujo de 6. Se resuelve y se observa que no se consigue la pureza requerida. Para conseguir que la pureza sea de 0.98, se realiza un DESIGN SPECS. Como especificación se considera una pureza de 0.98, de i-butano, en la corriente de destilado. Como variable que permitimos cambiar para conseguir la pureza,

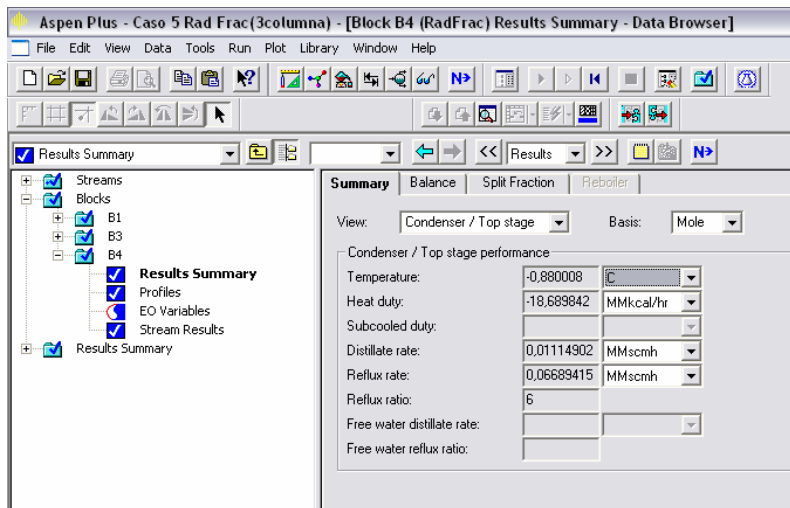
indicamos la relación de reflujo. El intervalo en el que permitimos que varíe es entre 0 y 10. Los resultados obtenidos son:

Caso 5 Short Cut						
Stream ID		DESTILA1	DESTILA2	FEED	RESIDUO1	RESIDUO2
Temperature	C	-42,2	-11,9	40,0	1,8	8,4
Pressure	bar	1,000	1,000	20,000	1,000	1,000
Vapor Frac		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mass Flow	tonne/hr	4,500	17,338	79,768	75,269	57,930
Volume Flow	cum/hr	7,695	29,118	142,059	123,349	94,563
Enthalpy	MMkcal/hr	-3,118	-11,373	-47,969	-46,663	-35,215
Density	kg/cum	584,783	595,448	561,517	610,207	612,614
Mole Flow	MMscmh					
PROPA-01		0,002	< 0,001	0,002	< 0,001	trace
ISOBU-01		< 0,001	0,007	0,007	0,007	< 0,001
N-BUT-01		trace	< 0,001	0,011	0,011	0,011
2-MET-01		trace	trace	0,009	0,009	0,009
Mole Frac						
PROPA-01		0,980	0,002	0,077	524 PPM	trace
ISOBU-01		0,020	0,980	0,231	0,249	0,006
N-BUT-01		43 PPM	0,018	0,385	0,417	0,549
2-MET-01		trace	trace	0,308	0,334	0,444
*** VAPOR PHASE ***						
Mole Flow						
Volume Flow						
Compressibility						
HeatCapRatio						



Para la tercera columna se considera un número de pisos de 14 (12 + 2), $D/F \rightarrow 0.5526$, relación de reflujo de 6. En este caso se cumplen las especificaciones con estas condiciones, de manera que no es necesario realizar el Design Specs. Los resultados obtenidos son:

Caso 5 ShortCut								
Stream ID		DESTILA1	DESTILA2	DESTILA3	FEED	RESIDUO1	RESIDUO2	RESIDUO3
Temperature	C	-42,2	-11,9	-0,9	40,0	1,8	8,4	26,3
Pressure	bar	1,000	1,000	1,000	20,000	1,000	1,000	1,000
Vapor Frac		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mass Flow	tonne/hr	4,500	17,338	28,928	79,768	75,269	57,930	29,002
Volume Flow	cu ^m /hr	7,695	29,118	47,974	142,059	123,349	94,563	47,181
Enthalpy	MMkcal/hr	-3,118	-11,373	-17,951	-47,969	-46,663	-35,215	-17,140
Density	kg/cum	584,783	595,448	602,992	561,517	610,207	612,614	614,701
Mole Flow	MMscmh							
PROPA-01		0,002	<0,001		0,002	<0,001	trace	
ISOBU-01		<0,001	0,007	<0,001	0,007	0,007	<0,001	trace
N-BUT-01		trace	<0,001	0,011	0,011	0,011	0,011	<0,001
2-MET-01		trace	trace	<0,001	0,009	0,009	0,009	0,009
Mole Frac								
PROPA-01		0,980	0,002		0,077	524 PPM	trace	
ISOBU-01		0,020	0,980	0,011	0,231	0,249	0,006	4 PPM
N-BUT-01		43 PPM	0,018	0,986	0,385	0,417	0,549	0,010
2-MET-01		trace	trace	0,002	0,308	0,334	0,444	0,990
*** VAPOR PHASE***								
Mole Flow								
Volume Flow								
Compressibility								
HeatCapRatio								



En el siguiente cuadro se resumen las condiciones de operación de cada una de las columnas para conseguir la especificación de pureza requerida.

Columna	Relación de reflujo	Presión (Bar)	Nº de platos	D/F
1	8.94	1	30	0.078
2	6.13	1	62	0.249
3	6.00	1	14	0,553

Como podemos observar, la separación más compleja es la del i-butano y n-butano (por eso se necesitan más pisos para la separación). Esto es debido a que son isómeros y la diferencia en el punto de ebullición es baja.

PROCEDIMIENTO D:

Para observar como varia el consumo energético de las columnas vamos a estudiar otra forma de operación, que permita obtener la separación deseada. En este caso, en las especificaciones de diseño, permitiremos variar la relación destilado carga.

Para la primera columna se indica una relación de reflujo de 9 y se realiza un Design Specs de D/F entre 0.01 y 0.5. La solución es $D/F = 0.0022$.

Para la segunda columna se considera una relación de reflujo de 6 y se realiza un Design Specs de D/F entre 0.01 y 0.6. La solución es $D/F = 0.0397$.

En la tercera columna se han considerado las mismas condiciones que en el procedimiento C.

Los resultados de calor para cada uno (en valor absoluto):

Caso	Columna 1º (MMKcal/h)		Columna 2º (MMKcal/h)		Columna 3º (MMKcal/h)		Total (MMKcal/h)
	Condensador	Calderín	Condensador	Calderín	Condensador	Calderín	
Cº)	4,5356534	2,72359992	10,78672	10,861851	18,689842	18,8138438	66,4115101
Dº)	4,5328466	2,7209509	10,491145	10,5651475	18,750419	18,874598	65,935107

A la vista de estos datos, podemos concluir que las condiciones del apartado dº) consiguen unos consumos energéticos más óptimos.