

## 5. RESULTADOS

Para el proceso de licuefacción se utilizaron los siguientes equipos: un mezclador, un compresor, un intercambiador de servicio auxiliar, un intercambiador de corriente de proceso, para aprovechar la temperatura baja que se obtiene de la expansión del gas de manera isoentálpica, una válvula para la expansión del gas haciendo uso del efecto Joule-Thomson y un tanque separador para la obtención final del producto licuado.

El intercambiador de servicio auxiliar se supuso que debe funcionar con agua de enfriamiento para devolver la corriente que se comprime a la temperatura inicial de compresión.

Los resultados que se presentan para cada topología son datos de temperatura, presión, entalpía y entropía. Estos datos se acomodaron en tablas, las cuales pueden ser consultadas en el apéndice A de la tesis. Al acomodar las tablas en los apéndices se le da mayor énfasis a los resultados obtenidos de la licuefacción, es decir, a la fracción licuada y a la cantidad de energía utilizada en el proceso.

De igual manera las superficies PTx, PHx y TSx se pueden consultar en el apéndice B. En las superficies se graficaron las trayectorias que la mezcla sigue cuando ésta se somete a las condiciones de operación del proceso de licuefacción.

Se maneja una nomenclatura para los resultados reportados. En las tablas mostradas en esta sección se puede observar que Q HTX es la cantidad de calor que se transfiere en el intercambiador de corriente de la topología 1, que W compresor se refiere al trabajo que el compresor necesita para descargar a la presión deseada y la Q se coloca para hacer notar que se utiliza un servicio auxiliar para llegar a la temperatura deseada.

Los resultados se presentan primero de manera individual, es decir, los datos de cada topología se dan por separado y al terminar de presentar las topologías, se muestra la tabla de comparación.

### 5.1 PRIMERA TOPOLOGÍA SIN SERVICIO AUXILIAR

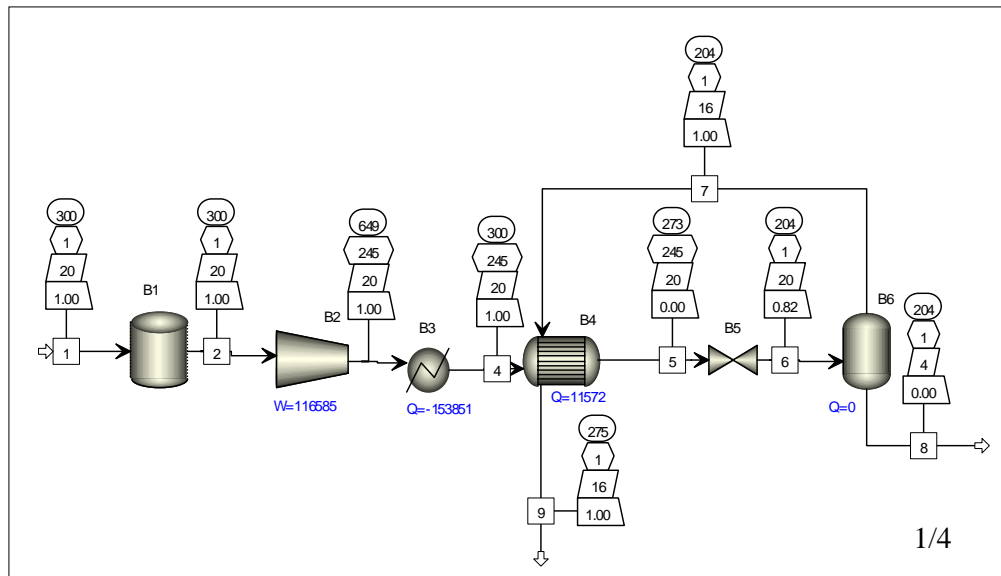


Figura 5.1. Topología 1-1

Tabla 5.1 Resultados de la Topología 1-1

Número de etapas de compresión:	1 etapa	
<b>FRACCIÓN VAPOR</b>	0.819853	
<b>FRACCIÓN LIQUIDO</b>	0.180147	
W COMPRESOR	116585	W
Q (T=300 K)	-153851	W
Q HTX	11572	W

Para la topología 1-1 presentada en la figura 5.1, la cantidad de fracción licuada es pequeña, comparada con la cantidad de vapor que se obtiene, estos datos pueden ser observados en la Tabla 5.1.

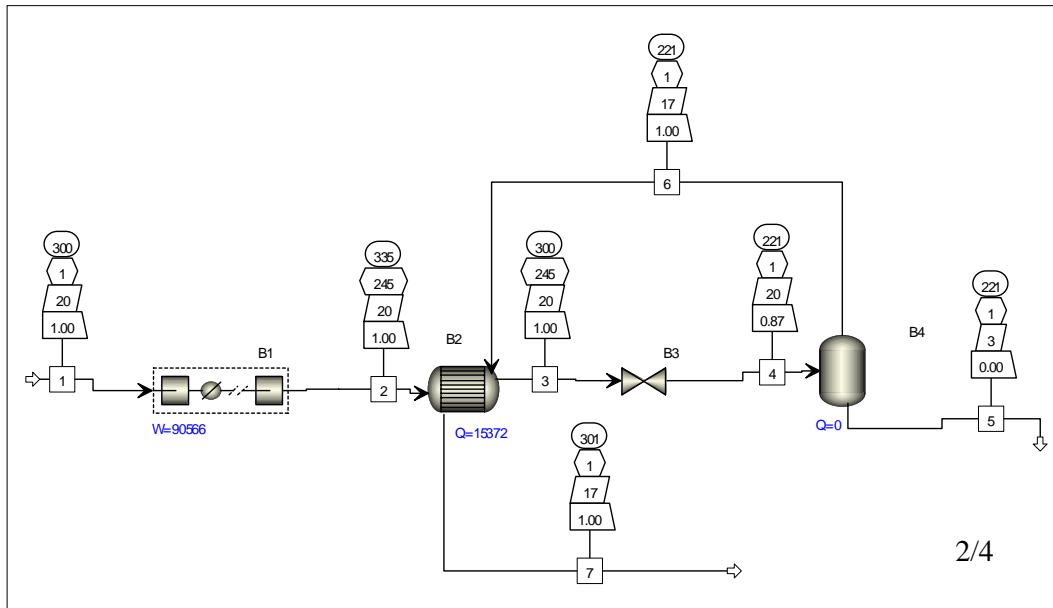


Figura 5.2 Topología 1-2

Tabla 5.2 Resultados de la Topología 1-2

Número de etapas de compresión	3 ETAPAS	
<b>FRACCIÓN VAPOR</b>	0.872364	

Tabla 5.2 Resultados de la Topología 1-2  
(continuación)

FRACCIÓN LIQUIDO	0.127636	
W COMPRESOR	90566	W
Q interenfriamiento	-112459	W
Q HTX	15372	W

En la tabla 5.2 se muestra que a comparación de la topología 1-1 reportada en la tabla 5.1, la topología 1-2 mostrada en la figura 5.2, tiene una fracción licuada de 0.1276, cantidad que es menor a la reportada en la tabla 5.2. Esto se debe a que la temperatura de salida del compresor es mayor en la topología 1-2 y la temperatura de salida en la válvula también es mayor, debido a un menor enfriamiento en la corriente la consecuencia es menor cantidad de fracción licuada a la salida del proceso.

La cantidad de trabajo en la topología 1-1 es mayor a la que tiene la topología 1-2. En la topología 1-2 se trató de simular un camino isoterma para que fuera menor la cantidad de trabajo requerida por el compresor.

Para el enfriamiento la topología 1-1 tiene mayor cantidad de energía que debe ser removida para llegar a la condición de salida deseada. La topología 1-1 por seguir una compresión de 1 etapa tiene una temperatura de salida muy elevada, al contrario de la topología 1-2 donde su temperatura de salida en cada etapa es menor y la cantidad de calor a remover por lo tanto es poca.

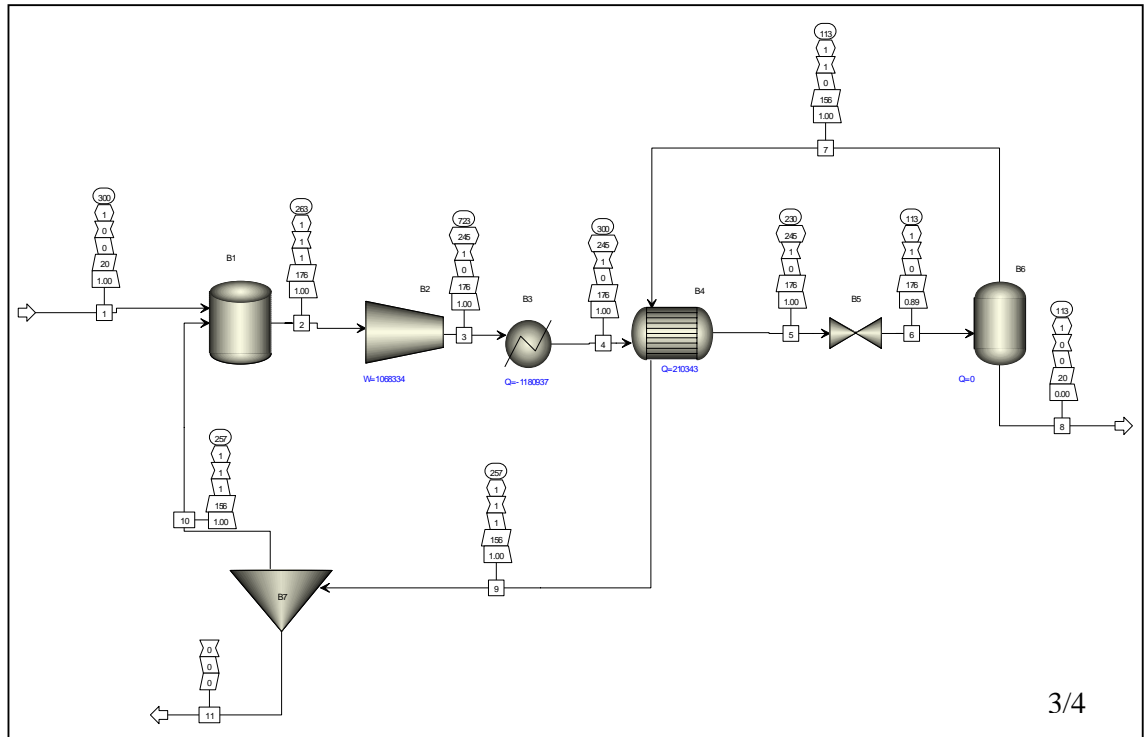


Figura 5.3 Topología 1-3

Tabla 5.3 Resultados de la Topología 1-3

Número de etapas de compresión	1 etapa	
<b>FRACCIÓN VAPOR</b>	0.886218	
<b>FRACCIÓN LIQUIDO</b>	0.113782	
W COMPRESOR	1068334	W
Q (T=300 K)	-1180937	W
Q HTX	210343	W
PURGA		0
<b>CORRIENTE DE PROCESO</b>		<b>1</b>

En la figura 5.3 se observa la topología 1-3. Esta topología fue la primera que se trabajo de manera cíclica. Aquí es cuando el simulador empezó a tener problemas de convergencia en el balance de materia cuando se trataba de recircular toda la corriente de gas de proceso que no

licuó, problema que se trató aumentando el número de iteraciones en el simulador hasta que llegara a converger de manera correcta.

En la topología 1-3, la cantidad de fracción licuada es 0.1137 como se presenta en la tabla 5.3. Hasta este punto la topología 1-3 tiene la menor fracción licuada que se obtuvo, así como también una gran demanda de trabajo y enfriamiento en los equipos de proceso.

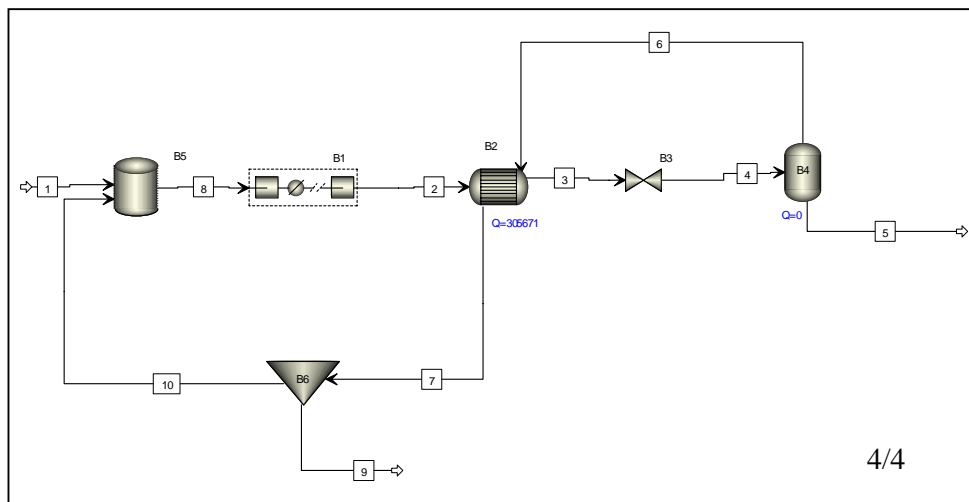


Figura 5.4 Topología 1-4

Tabla 5.4 Resultados de la Topología 1-4

Número de etapas de compresión	3 etapas	
<b>FRACCIÓN VAPOR</b>	0.993201	
<b>FRACCIÓN LIQUIDO</b>	6.80E-03	
W COMPRESOR	2574531	W
Q interenfriamiento	-2615720	W
Q HTX	305671	W
PURGA		0.03
CORRIENTE DE PROCESO		0.97

En la figura 5-4 se, muestra la topología 1-4. Esta topología nuevamente vuelve a ser cíclica, pero ahora la compresión se realiza en 3 etapas. La demanda de trabajo en el compresor es más alta que en el caso de la topología 1-3, así como la necesidad de enfriamiento también.

Para la topología 1-3 no se pudo recircular en su totalidad la corriente de gas no licuado. En esta topología se necesitó una purga de 0.03 para que el simulador cumpliera el balance de materia.

Tabla 5.5. Comparación de resultados entre Primera topología sin servicio auxiliar

PRIMERA TOPOLOGÍA MEZCLA	METANO N-BUTANO		SIN SERVICIO AUXILIAR 0.8 0.2	
Topología	1-1	1-2	1-3	1-4
LIQUIDO	0.180147	0.127636	0.1137818	0.0067987
VAPOR	0.819853	0.872364	0.8862182	0.9932013
	NO CICLO	NO CICLO	CICLO	CICLO
NO. ETAPAS	1	3	1	3
Wcomp (W)	116585	90566	1068334	2574531.45
Q(1 comp) (W)	-153851	0	-1180937	0
q etapas (w)	0	-112459	0	-2615719.6
q htx1 (W)	11572	15372	210343	305671
q htx2 (W)	-----	-----	-----	-----
q aux (w)	0	0	0	0
Q TOTAL SERV. AUX (W)	-153851	-112459	-1180937	-2615719.6
Q TOTAL HTX (W)	11572	15372	210343	305671
T de s. Aux. (K)	-----	-----	-----	-----
T sal. Htx1 (K)	273	300	230	300

LO AHORRADO EN ENERGÍA POR CORRIENTES DE PROCESO

Tabla 5.5  
(continuación)

<b>T sal. Htx2 (K)</b>	-----	-----	-----	-----
<b>T sal. Válvula (K)</b>	204	221	113	200.7818
<b>purga</b>	0	0	0	0.03

En la tabla 5.5 se presentan los resultados más importantes de la primera topología sin servicio auxiliar. Como se puede ver en la tabla 5.5, el enfriamiento que se consigue sin servicio auxiliar, no es muy eficiente, ya que no se consiguen temperaturas a la salida de la válvula que sean muy frías, por lo que no se obtiene una cantidad de líquido muy alta.

Si se tuviera que escoger de estas cuatro topologías, tal vez la que más convendría sería la primera (topología 1-1), para el caso de la fracción licuada, pero no es la topología que utiliza mejor la energía, ya que requiere mucho trabajo en el compresor, aprovecha calor, aunque menos que en el caso de la segunda topología (topología 1-2), y requiere mayor cantidad de servicio auxiliar frío que la otra topología que no es cíclica.

De las topologías cíclicas la que mayor cantidad de líquido obtiene es la primera (topología 1-3), es decir la topología que funciona con compresión en una sola etapa, remueve menor cantidad de calor en el servicio de enfriamiento de la compresión y obtiene la menor temperatura de salida de la válvula.



## 5.2 SEGUNDA TOPOLOGIA SIN SERVICIO AUXILIAR

Esta topología difiere de la primera topología en que se hace uso de un segundo intercambiador de corriente, y la compresión que se hace por etapas se decidió no hacer en 3 etapas si no en 5 etapas, para ver la manera en que las temperaturas disminuían en cada descarga y cómo se alteran los valores de energía utilizados.

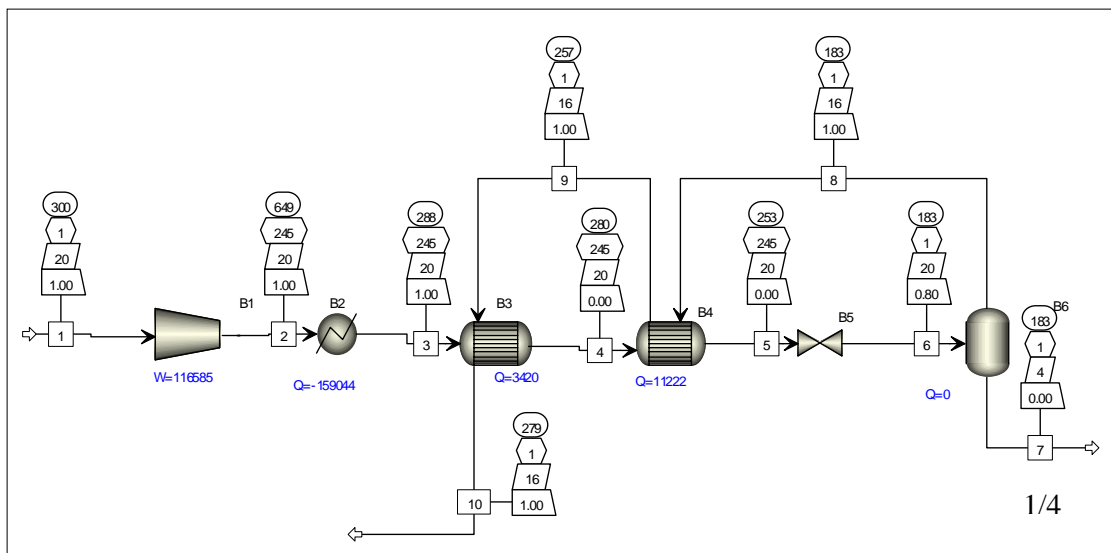


Figura 5.5 Topología 2-1

Tabla 5.6 Resultados de la Topología 2-1

Número de etapas de compresión	1 etapa				
FRACCIÓN VAPOR	0.799141			T sal. Válvula	183 K
FRACCIÓN LIQUIDO	0.20086				
W COMPRESOR	116585	W			
Q (T=288 K)	-159044	W			
Q HTX 1	3420	W		T salida HTX 1=	280 K
Q HTX2	11222	W		T salida HTX 2=	253 K

En la figura 5.5 se presenta la topología 2-1 y sus resultados se acomodaron en la tabla 5.6. En esta tabla, así como todas las referentes a

la topología 2 sin servicio auxiliar, se pueden observar como parte de los datos reportados la fracción de vapor y de líquido obtenidas, el trabajo del compresor ( $W_{\text{compresor}}$ ), la cantidad de energía necesaria para tratar a la compresión como isoterma ( $Q (T=288K)$ ), la cantidad de energía que se ahorra con las corrientes de proceso ( $Q_{HTX 1}$  y  $Q_{HTX 2}$ ), así como también las temperaturas de salida de estos intercambiadores de corriente y la temperatura de salida de la válvula.

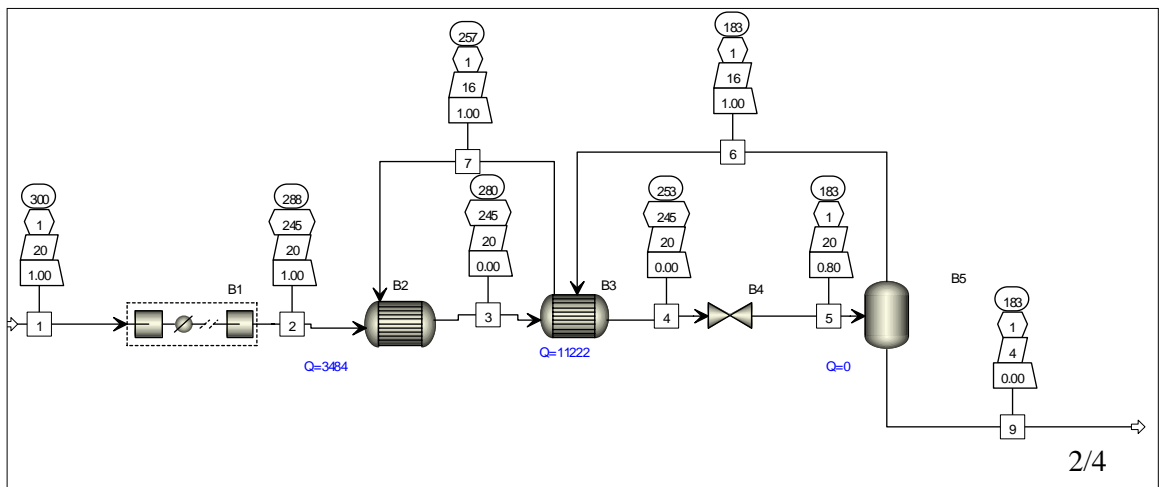


Figura 5.6 Topología 2-2

Tabla 5.7 Resultados de la Topología 2-2

Número de etapas de compresión	5 etapas				
FRACCIÓN VAPOR	0.799141			T sal. Válvula	183 K
FRACCIÓN LIQUIDO	0.20086				
W COMPRESOR	84665.43	W			
Q interenfriamiento	-127059	W			
Q HTX1	3484	W		T salida HTX1=	280 K
Q HTX2	11222	W		T salida HTX2=	253 K

En la figura 5.6 se encuentra la topología 2-2. Los resultados de esta topología se ven en la tabla 5.7. Comparando la topología 2-1 con la

topología 2-2, la fracción licuada reportada en los dos casos es la misma, difieren en la cantidad de trabajo que consume el compresor y en la cantidad de calor retirada de la corriente que se comprime, siendo mayor para ambos casos en la topología 2-1. La temperatura de salida de válvula es la misma para las dos topologías mencionadas.

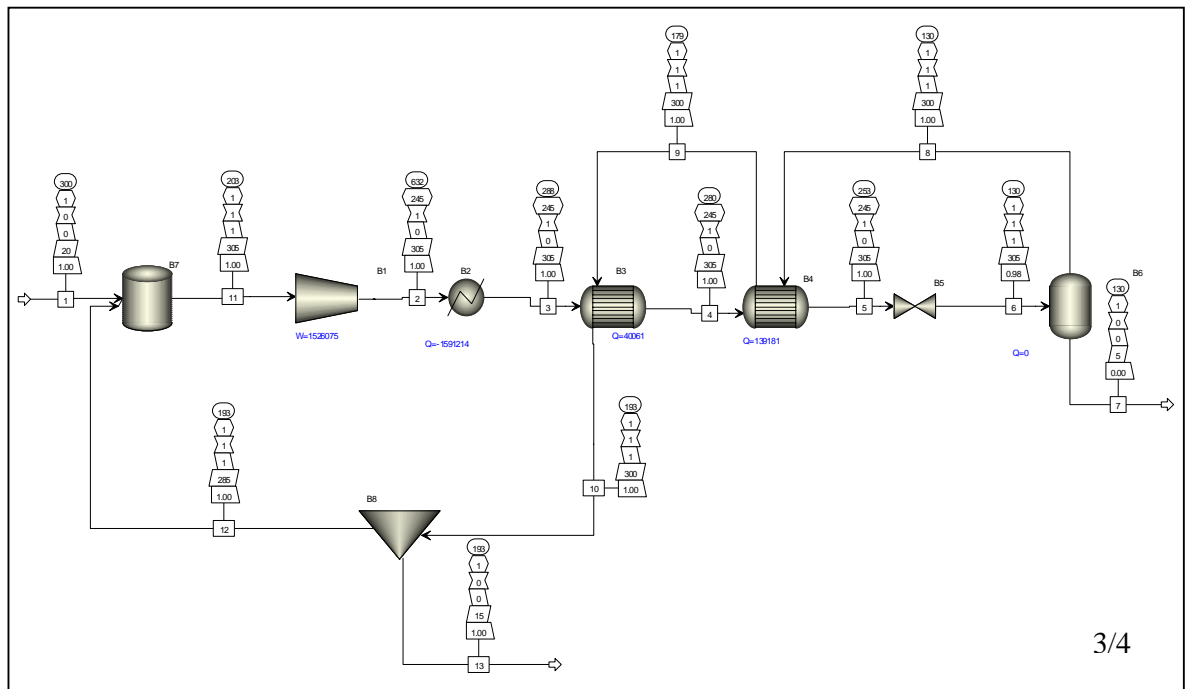


Figura 5.7 Topología 2-3

Tabla 5.8 Resultados de la topología 2-3

Número de etapas de compresión	1 etapa				
				T salida válvula	130 K
<b>FRACCIÓN VAPOR</b>	0.983741			purga	0.05
<b>FRACCIÓN LIQUIDO</b>	0.016259			a proceso	95
W COMPRESOR	1526075	W			
Q (T=288 K)	-1591214	W			
Q HTX 1	40061	W		T salida HTX 1 =	280 K
Q HTX2	139181	W		T salida HTX 2 =	253 K

En la figura 5.7 se presenta la topología 2-3, que ya es cíclica. Para esta topología tal como lo muestra la tabla 5.8, se necesitó una purga de 0.05 para cumplir con el balance de materia. La fracción licuada no es mucha comparada con las topologías 2-1 y 2-2.

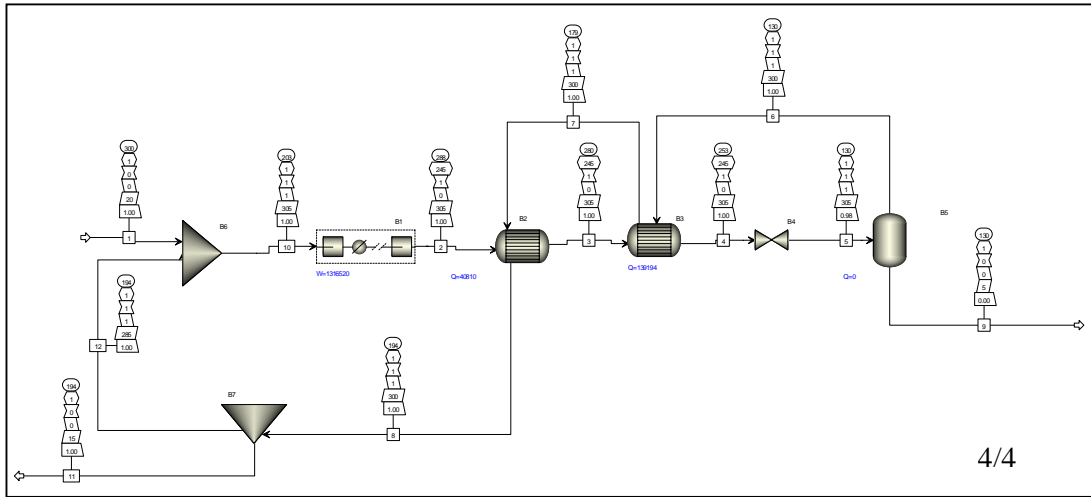


Figura 5.8 Topología 2-4

Tabla 5.9 Resultados de la Topología 2-4

Número de etapas de compresión	5 etapas				
				T salida válvula	130 K
<b>FRACCIÓN VAPOR</b>	0.983742			a proceso	0.95
<b>FRACCIÓN LIQUIDO</b>	0.016258			purga	0.05
W COMPRESOR	1316520	W			
Q (interenfriamiento)	-1381602	W			
Q HTX 1	40810	W		T salida HTX 1=	280 K
Q HTX2	139194	W		T salida HTX 2=	253 K

Para la topología 2-4 mostrada en la figura 5.8, se presentan sus resultados en la tabla 5.9. Como esta topología es cíclica se tuvo que hacer uso de una purga nuevamente para lograr una convergencia correcta en el simulador.

La cantidad de fracción licuada de la topología 2-4 comparada con la topología 2-3 es parecida, difieren en la cantidad de trabajo y enfriamiento que se demanda en el proceso, siendo menor para el caso de la topología 2-4.

Tabla 5.10 Comparación de los resultados de la Segunda topología sin servicio auxiliar

**SEGUNDA TOPOLOGÍA**  
**MEZCLA**                      **METANO**                      **0.8**  
   **N-BUTANO**                      **0.2**

Topología	2-1	2-2	2-3	2-4
LIQUIDO	0.20086	0.20086	0.0162592	0.0162578
VAPOR	0.799141	0.799141	0.9837408	0.9837422
	no ciclo	no ciclo	ciclo	ciclo
NO. ETAPAS	1	5	1	5
Wcomp (W)	116585	84665.43	1526075	1316520
Q(1 comp) (W)	-159044	0	-1591214	0
q etapas (w)	0	-127059	0	-1381602.3
q htx1 (W)	3420	3484	40061	40810
q htx2 (W)	11222	11222	139181	139194
q aux (w)	0	0	0	0
Q TOTAL SERV. AUX (W)	-159044	-127059	-1591214	-1381602.3
Q TOTAL HTX (W)	14642	14706	179242	180004
T de s. Aux. (K)	-----	-----	-----	-----
T sal. Htx1 (K)	280	280	280	280
T sal. Htx2 (K)	253	253	253	253
T sal válvula (K)	183	183	130	130
purga	0	0	0.05	0.05

LO AHORRADO EN ENERGÍA  
POR CORRIENTES DE PROCESO

Para el caso de las topologías presentadas en la tabla 5.10, se puede observar, que la cantidad que se licúa mediante ellas, es parecida. Es menor en el caso de los ciclos, pero esto se debe a que se tiene que circular por el sistema mayor cantidad de flujo. Se obtienen temperaturas de salida en la válvula más bajas en el caso de las topologías que son cíclicas ( $T = 130 \text{ K}$  o  $-143 \text{ }^\circ\text{C}$ ).

Las recirculaciones en el caso de las topologías cíclicas se logró que fueran lo más pequeñas posibles, esto fue necesario para que el simulador pudiera llevar a cabo el balance de materia y la corrida pudiera converger de manera correcta.

Se puede ver que las temperaturas a la salida de los intercambiadores de corriente es la misma, pero la temperatura de salida de la válvula para los cuatro casos no es la misma.

El enfriamiento en el caso de los ciclos es mayor en la topología 2-3, donde la compresión se realizó en 1 etapa, esto se debe a que la temperatura de salida debe regresarse a un camino isoterma y se retira mayor cantidad de calor por el servicio auxiliar. En el caso de la compresión realizada en etapas en la topología 2-2, que no es cíclica el enfriamiento es menor.

### **5.3 PRIMERA TOPOLOGÍA CON SERVICIO AUXILIAR**

Las topologías presentadas en esta sección contienen un servicio auxiliar utilizado para mejorar el enfriamiento y ver el efecto que se

tiene en la temperatura de salida de la válvula, para incrementar la fracción licuada del proceso.

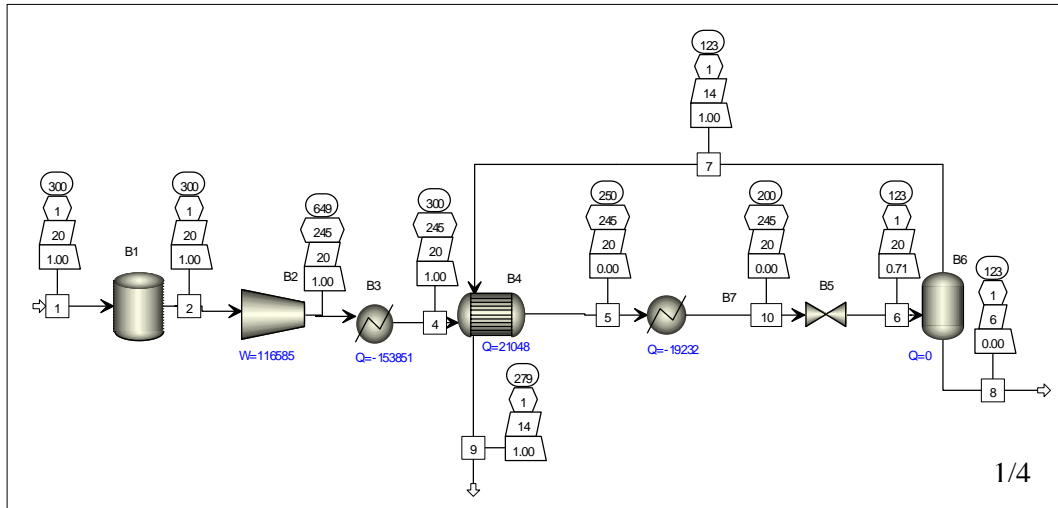


Figura 5.9 Topología 1-s1

Tabla 5.11 Resultados de la Topología 1-s1

Número de etapas de compresión	1 etapa				
T sal válvula	123	K			
FRACCIÓN VAPOR	0.714606				
FRACCIÓN LIQUIDO	0.285394				
W COMPRESOR	116585	W			
Q (T=300 K)	-153851	W			
Q HTX	21048	W	T salida HTX =	250	K
Q ser. Aux.	-19232	W	T salida servicio Aux.=	200	K

En la figura 5.9 se muestra la topología 1-s1 y sus resultados se encuentran en la tabla 5.11, donde se ve que la fracción licuada es de 0.285394. En la tabla 5.11 se observan los datos del trabajo en el compresor, el calor que se retira en la corriente de salida del compresor para simular un camino isoterma (Q (T=300K)), la cantidad de calor que

se aprovecha de la corriente de proceso en el intercambiador (Q HTX), la cantidad de calor proveniente de servicio auxiliar frío (Q ser. Aux. ), así como las temperaturas de salida en el caso de la válvula, del servicio auxiliar y del intercambiador de corriente.

Los resultados de las topologías que se presentan posteriormente en esta sección contienen los datos descritos para la tabla 5.11.

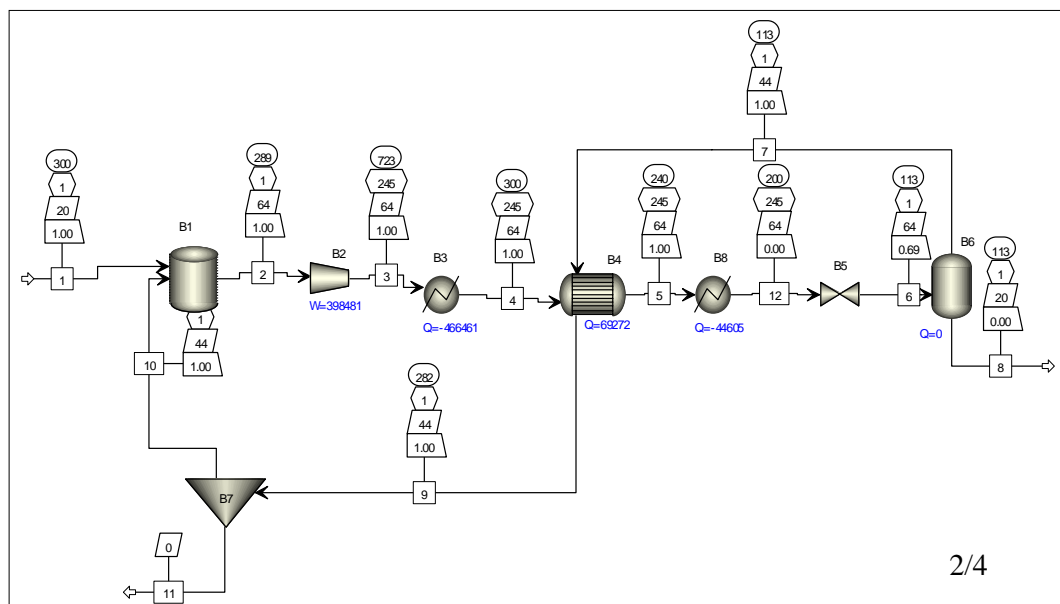


Figura 5.10 Topología 1-s2

Tabla 5.12 Resultados de la Topología 1-s2

Número de etapas de compresión	1 etapa				
T sal. Válvula	113	K			
<b>FRACCIÓN VAPOR</b>		0.685053			
<b>FRACCIÓN LIQUIDO</b>		0.314947			
W COMPRESOR	398481	W			
Q(T=300K)	-466461	W			
Q HTX	69272	W	T salida HTX =	240	K
Q ser. Aux	-44605	W	T salida del servicio auxiliar =	200	K



La topología 1-s2 se observa en la figura 5.10. Esta topología es cíclica, pero no hubo necesidad de utilizar purga para este caso. La convergencia fue correcta en el simulador.

En la tabla 5.12 se muestran los resultados de la topología 1-s2, donde la fracción licuada se reporta con un valor de 0.314947, cantidad que es mayor al dato de la topología 1-s1, debido a que el enfriamiento en la topología 1-s2 fue mayor y la temperatura de salida de la válvula es menor para este caso.

La demanda de trabajo para el compresor y la necesidad de enfriamiento es mayor para el caso de la topología 1-s2. Entre la topología 1-s1 y 1-s2 existe una diferencia de temperatura a la salida de los intercambiadores de corriente. Estos datos se observan en la tabla 5.12.

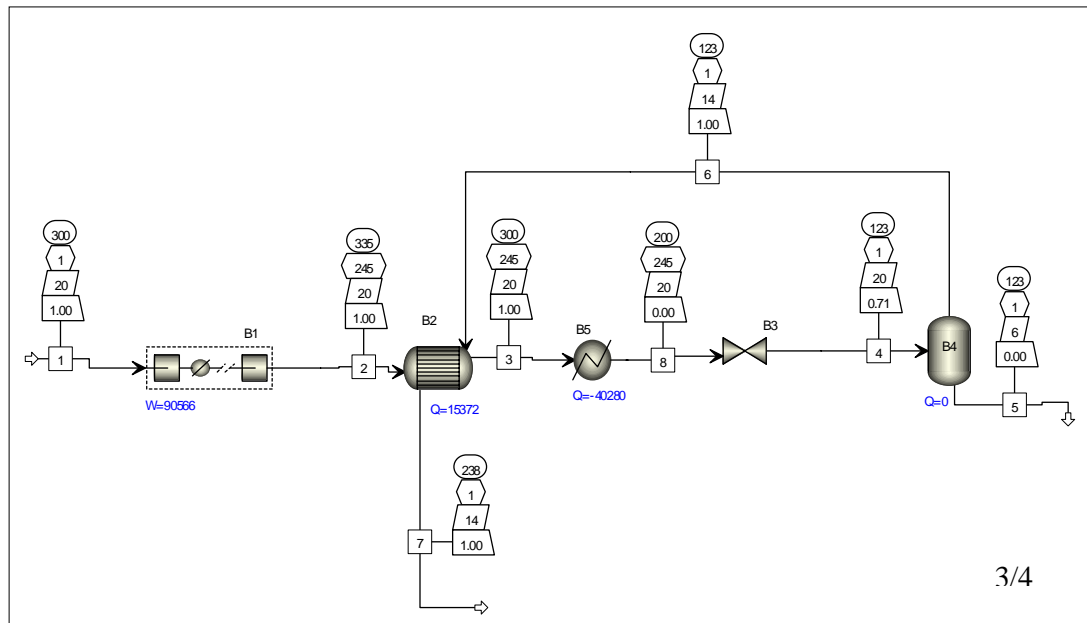


Figura 5.11 Topología 1- s3

La topología 1-s3 se esquematiza en la figura 5.11 y sus resultados se reportan en la tabla 5.13. Para esta topología que en donde la compresión se realiza en tres etapas la fracción licuada fue de 0.285394.

Tabla 5.13 Resultados de la Topología 1-s3

Número de etapas de compresión	3 etapas				
T salida válvula	123	K			
FRACCIÓN VAPOR		0.714606			
FRACCIÓN LIQUIDO		0.285394			
W COMPRESOR	90565.52	W			
Qinterenfriamiento	-112459	W			
Q HTX	15372	W	T salida HTX=	300	K
q serv. Aux	-40280	W	T salida del servicio auxiliar=	200	K

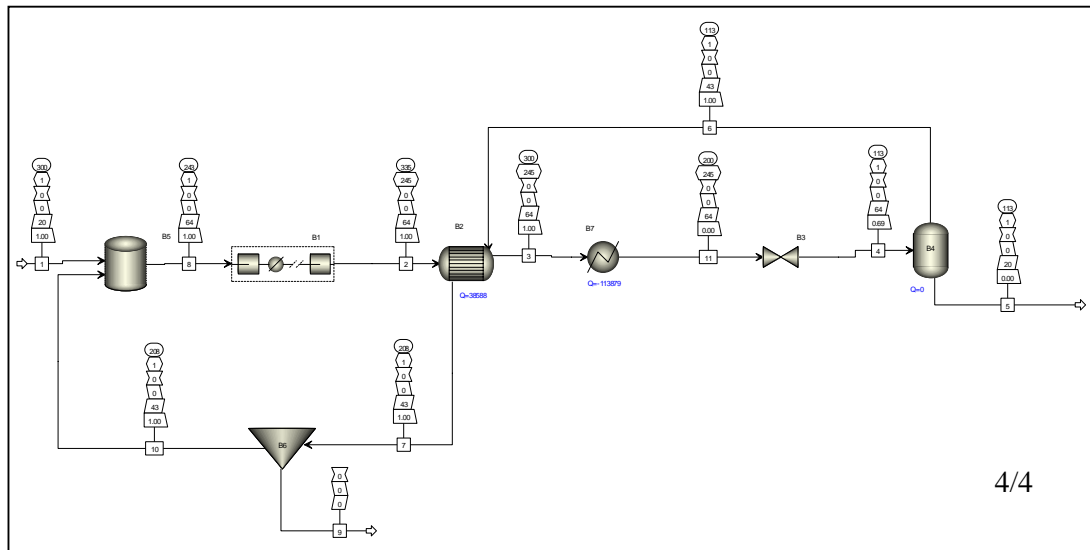


Figura 5.12 Topología 1 – s4

En la figura 5.12 se presenta la topología 1-s4 y sus resultados se observan en la tabla 5.14. Esta topología es cíclica y no requirió de purgas en el sistema para que el simulador realizara un balance de



Tabla 5.15 Comparación de resultados de la Primera topología con servicio auxiliar (continuación)

<b>q htx2 (W)</b>	0	0	0	0
<b>q aux (w)</b>	-19232	-44605	-40280	-113879
<b>Q TOTAL SERV. AUX (W)</b>	-173083	-511066	-152739.43	-401987.32
<b>Q TOTAL HTX (W)</b>	21048	69272	15372	38588
<b>T de s. Aux. (K)</b>	200	200	200	200
<b>T sal. Htx1 (K)</b>	250	240	300	300
<b>T sal. Htx2 (K)</b>	-----	-----	-----	-----
<b>T sal. Válvula (K)</b>	123	113	123	113
<b>purga</b>	0	0	0	0

LO AHORRADO EN ENERGÍA

POR CORRIENTES DE PROCESO

Cuando se incorpora un servicio auxiliar a las topologías, se puede ver que la cantidad de flujo licuado aumenta. Cabe mencionar que la que mayor líquido produjo fue la topología 1-s4, es una topología cíclica que tiene las mismas condiciones que la topología 1-s3 en la salida del servicio auxiliar y se disminuyó la temperatura de salida de la válvula hasta 113 K.

El trabajo del compresor en 1-s2 es mayor que en 1-s4, así como la cantidad de calor que se necesita retirar de la corriente que se comprimió. Pero es mayor la cantidad de calor que se aprovecha entre las corrientes de proceso en la 1-s2.

Para las topologías 1-s3 y 1-s4, se usaron compresiones en 3 etapas, resultando con mayor flujo licuado la 1-s4. Esta última tiene una

cantidad de trabajo menor que la topología 1-s2, así como menor demanda de servicio auxiliar.

### 5.4 SEGUNDA TOPOLOGÍA CON SERVICIO AUXILIAR

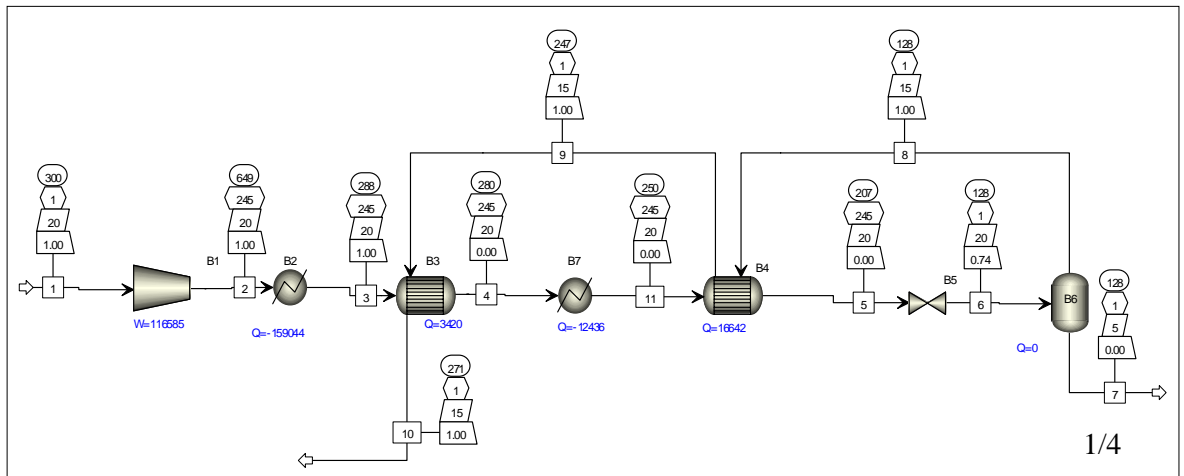


Figura 5.13 Topología 2 – s1

Tabla 5.16 Resultados de la Topología 2-s1

Número de etapas de compresión	1 etapa				
T sal. Válvula (K)	128	K			
<b>FRACCIÓN VAPOR</b>		0.7442573			
<b>FRACCIÓN LIQUIDO</b>		0.2557427			
W COMPRESOR	116585	W			
Q (T=288 K)	-159044	W			
Q HTX 1	3420	W	T salida del HTX 1=	280	K
Q HTX 2	16642	W	T salida del HTX 2=	207	K
Q serv. Aux.	-12436	W	T salida del servicio auxiliar =	250	K

En las tablas de esta sección las tablas contienen la información de la fracción licuada obtenida, el trabajo del compresor, el calor retirado en la compresión, el calor aprovechado por las corrientes de proceso

(QHTX1 y QHTX2), el calor que se debería retirar con servicio auxiliar frío, las temperaturas de salida de los intercambiadores de corriente, del servicio auxiliar y de la válvula.

La figura 5.13 representa a la topología 2-s1 y la tabla 5.16 muestra los resultados obtenidos de la simulación. La compresión se realizó en una sola etapa, con demanda de trabajo igual a la de la topología 1-1 y con una fracción licuada de 0.2557.

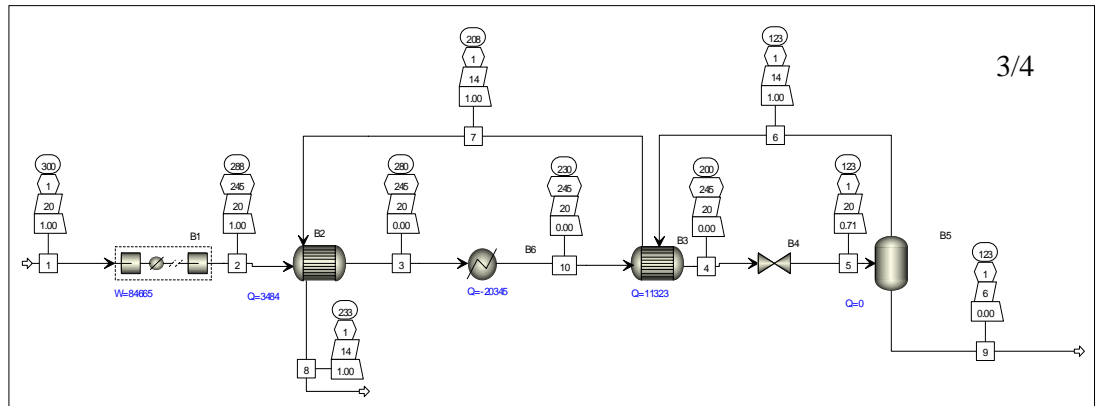


Figura 5.14 Topología 2 –s3

Tabla 5.17 Resultados de la Topología 2-s3

Número de etapas de compresión	5 etapas				
T sal. Válvula	123	K			
FRACCIÓN VAPOR		0.7146056			
FRACCIÓN LIQUIDO		0.2853944			
W COMPRESOR	84665	W			
Q interenfriamiento	-127059	W			
Q HTX 1	3484	W	T salida HTX 1=	280	K
Q HTX 2	11323	W	T salida HTX 2=	200	K
Q serv. Aux.	-20345	W	T salida servicio auxiliar =	230	K

En la figura 5.14 se observa la topología 2-s3 y sus resultados se reportan en la tabla 5.17. Esta topología tiene una fracción licuada mayor que la topología 2-s1, porque la temperatura de salida de la topología 2-s3 es menor. De igual manera la demanda de trabajo por parte del compresor y el calor retirado en la compresión, son mayores en la topología 2-s1. Al comparar el calor en el servicio auxiliar la cantidad retirada es mayor en la topología 2-s3.

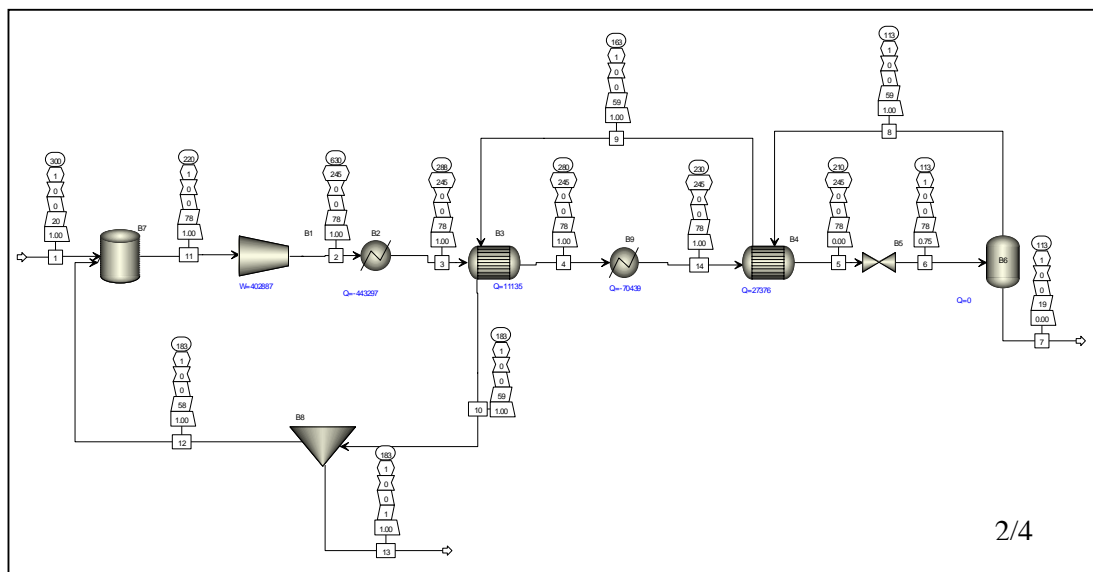


Figura 5.15 Topología 2 – s2

Tabla 5.18 Resultados de la Topología 2-s2

Número de etapas de compresión	1 etapa				
T sal. Válvula (K)	113	K			
<b>FRACCIÓN VAPOR</b>		0.7525586			
<b>FRACCIÓN LIQUIDO</b>		0.2474414			
W COMPRESOR	402887	W			
Q (T=288K)	-443297	W			
Q HTX1	11135	W	T salida HTX 1=	280	K
Q HTX2	27376	W	T salida HTX 2=	210	K
Q serv. Aux	-70439	W	T salida servicio auxiliar =	230	K
Purga	0.01				

La topología 2-s2 se esquematiza en la figura 5.15 y sus resultados se ordenan en la tabla 5.18. Para esta topología se tuvo que colocar una purga de 0.01 con el fin de que el simulador no presentara problemas al resolver los balances de materia.

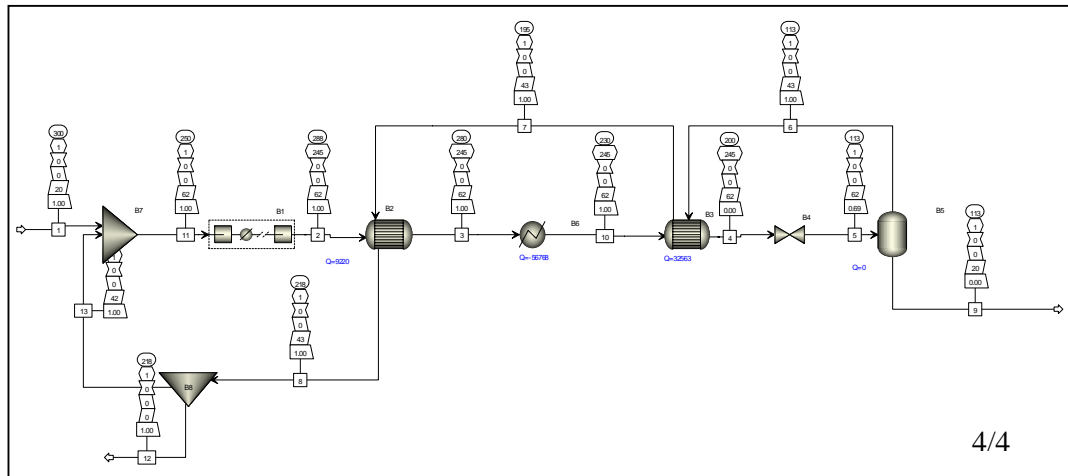


Figura 5.16 Topología 2 – s4

Tabla 5.19 Resultados de la Topología 2-s4

Número de etapas de compresión	5 etapas				
T salida válvula	113	K			
<b>FRACCIÓN VAPOR</b>		0.6856393			
<b>FRACCIÓN LIQUIDO</b>		0.3143607			
W COMPRESOR	271117.1	W			
Q interenfriamiento	-325537	W			
Q HTX1	9220	W	T salida HTX 1=	280	K
Q HTX2	32563	W	T salida HTX 1=	200	K
Q serv. Aux	-56768	W	T salida servicio auxiliar =	230	K
Purga	0.01				

En la figura 5.16 se muestra la topología 2-s4 con sus respectivos resultados colocados en la tabla 5.19.

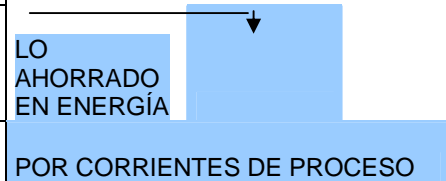


Tabla 5.20 Comparación de resultados de la Segunda topología con servicio auxiliar

**SEGUNDA TOPOLOGÍA**  
**MEZCLA**                      **METANO**  
    **N-BUTANO**

**SERVICIO AUXILIAR**  
**0.8**  
**0.2**

	2-s1	2-s2	2-s3	2-s4
<b>LIQUIDO</b>	0.255743	0.247441	0.2853944	0.3143607
<b>VAPOR</b>	0.744257	0.752559	0.7146056	0.6856393
	NO CICLO	CICLO	NO CICLO	CICLO
<b>NO. ETAPAS</b>	1	1	5	5
<b>Wcomp (W)</b>	116585	402887	84665	271117.065
<b>Q(1 comp) (W)</b>	-159044	-443297	0	0
<b>q etapas (w)</b>	0	0	-127059.44	-325537.45
<b>q htx1 (W)</b>	3420	11135	3484	9220
<b>q htx2 (W)</b>	16642	27376	11323	32563
<b>q aux (w)</b>	-12436	-70439	-20345	-56768
<b>Q TOTAL SERV. AUX (W)</b>	-171480	-513736	-147404.44	-382305.45
<b>Q TOTAL HTX (W)</b>	20062	38511	14807	41783
<b>T de s. Aux. (K)</b>	250	230	230	230
<b>T sal. Htx1 (K)</b>	280	280	280	280
<b>T sal. Htx2 (K)</b>	207	210	200	200
<b>T sal. Válvula (K)</b>	128	113	123	113
<b>purga</b>	0	0.01	0	0.01



Para el caso de estas topologías la que obtiene mayor fracción licuada es la cuarta, tal como se observa en la tabla 5.20. Tiene el trabajo de compresión mayor comparado con las otras tres. Su calor de interenfriamiento es menor que el usado por la segunda topología.

## 5.5 TERCERA TOPOLOGÍA

Con esta topología se buscó la obtención de temperaturas más bajas en las salidas de las válvulas, para poder recircular un gas que enfriara lo suficiente la corriente a ser licuada y así producir mayor cantidad de líquido en el proceso, es por eso que se utilizó una turbina para expandir parte del gas a ser licuado.

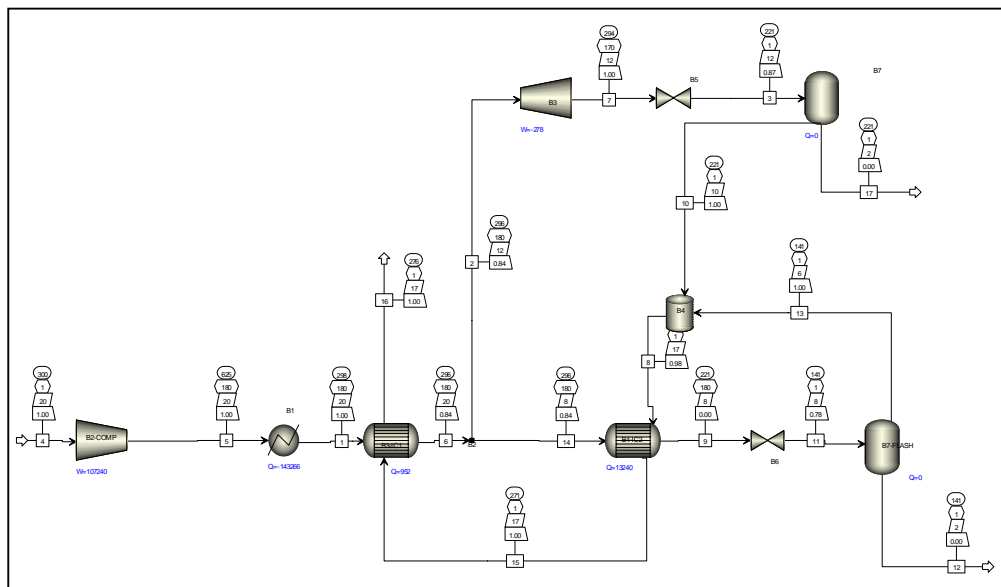


Figura 5.17 Topología 3 -1

Tabla 5.21 Resultados de la Topología 3-1

Número de etapas de compresión	1 etapa				
FRACCIÓN VAPOR		0.8714258			
FRACCIÓN LIQUIDO		0.1285742			turbina
T salida válvula		221	K		
FRACCIÓN VAPOR		0.7759143			
FRACCIÓN LIQUIDO		0.2240857			htx 2
T salida válvula		141	K		
W COMPRESOR	107240	W			
W TURBINA	-278	W			

Tabla 5.21 Resultados de la Topología 3-1  
(continuación)

Q (T=298 K)		-143266	W			
Q HTX 1		952	W	T salida de HTX 1 =	296	K
Q HTX 2		13240	W	T salida de HTX 2 =	221	K

La topología 3-1 se representa en la figura 5.17 y los resultados correspondientes se tienen en la tabla 5.21. En esta topología la fracción licuada se vuelve la suma de lo que se obtiene como salida en los dos separadores que forman parte de la topología. El compresor requiere una cantidad de trabajo de 107240 W y ahora también se produce trabajo gracias a la turbina. Esta topología da como temperatura de salida del primer intercambiador de corriente de 296 K.

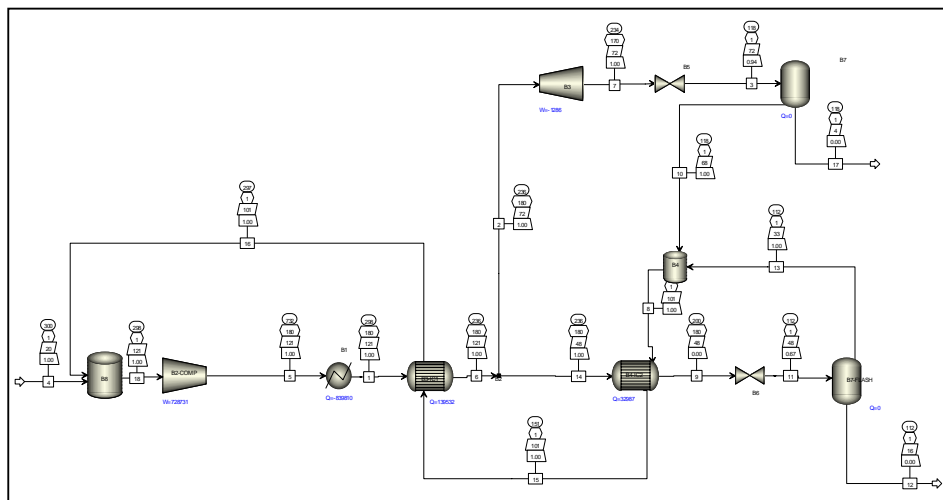


Figura 5.18 Topología 3 – 2

En la figura 5.45 se observa la topología 3-2 y los resultados de esta topología están ordenados en la tabla 5.22.

Tabla 5.22 Resultados de la Topología 3-2

Número de etapas de compresión	1 etapa				
FRACCIÓN VAPOR	0.940935			TURBINA	
FRACCIÓN LIQUIDO	0.059065				
T salida válvula	118	K			
FRACCIÓN VAPOR	0.67415			HTX	
FRACCIÓN LIQUIDO	0.32585				
T salida válvula	112	K			
W COMPRESOR	728731	W			
W TURBINA	-1286	W			
Q interenfriamiento	-839810	W			
Q HTX 1	139532	W		T salida HTX 1=	236 K
Q HTX2	32987			T salida HTX 2=	200 K

En esta topología la fracción licuada se vuelve la suma de lo que se obtiene como salida en los dos separadores que forman parte de la topología, igual que en el caso anterior. El compresor requiere una cantidad de trabajo de 728731 W y ahora también se produce trabajo gracias a la turbina. Esta topología da como temperatura de salida del primer intercambiador de corriente de 236 K.

Tabla 5.23 Comparación de resultados de la Tercera topología

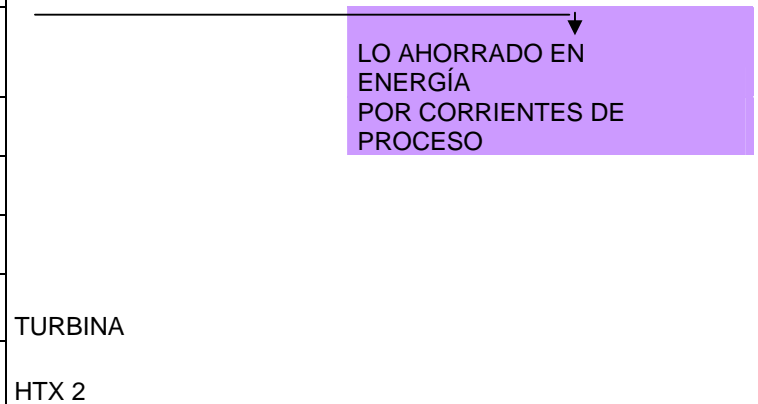
**TERCERA TOPOLOGÍA**

**MEZCLA**                      **METANO T**                      **0.8**  
   **N-BUTANO**                      **0.2**

Topología	3-1	3-2	
LIQUIDO	0.128574	0.059065	} TURBINA
VAPOR	0.871426	0.940935	
LIQUIDO	0.224086	0.32585	} HTX 2
VAPOR	0.775914	0.67415	
	NO CICLO	CICLO	
LIQUIDO TOTAL	0.35266	0.384915	
NO. ETAPAS	1	1	

Tabla 5.23 Comparación de resultados de la Tercera topología (continuación)

<b>Wturbina (W)</b>	-278	-1286
<b>Wcomp (W)</b>	107240	728731
<b>Q(1 comp) (W)</b>	-143266	-839810
<b>q etapas (w)</b>	----	----
<b>q htx1 (W)</b>	952	139532
<b>q htx2 (W)</b>	13240	32987
<b>q aux (w)</b>	0	0
<b>Q TOTAL SERV. AUX (W)</b>	-143266	-839810
<b>Q TOTAL HTX (W)</b>	14192	172519
<b>T de s. Aux. (K)</b>	-----	-----
<b>T sal. Htx1 (K)</b>	296	236
<b>T sal. Htx2 (K)</b>	221	200
<b>T sal. Válvula (K)</b>	221	118
<b>T sal. Válvula (K)</b>	141	112
<b>purga</b>	0	0



La topología 3-2 es la que logra una mayor cantidad de fracción licuada. Tiene mayor trabajo en el compresor y logra temperaturas de salida en las válvulas menores a las obtenidas en la topología 3-1. La cantidad de servicio de enfriamiento utilizado en la compresión es mayor en la topología cíclica (3-1), debido a que maneja una mayor cantidad de flujo dentro del sistema. El aprovechamiento por corrientes de proceso es mejor en el caso de la topología 3-1.

## 5.6 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

A continuación se presentan las tablas donde se comparan las topologías cíclicas y las topologías acíclicas.

Tabla 5.24 Resultados de las Topologías acíclicas

	1-1	1-2	2-1	2-2	1-s1	1-s3	2-s1	2-s3
<b>SERV. AUX.</b>	NO	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI
<b>TOPOLOGÍA</b>	1	1	2	2	1	1	2	2
	<b>1/4</b>	<b>2/4</b>	<b>1/4</b>	<b>2/4</b>	<b>1/4</b>	<b>3/4</b>	<b>1/4</b>	<b>3/4</b>
<b>LIQUIDO</b>	0.180147	0.127636	0.20086	0.20086	0.285394	0.285394	0.255743	0.285394
<b>VAPOR</b>	0.819853	0.872364	0.799141	0.799141	0.714606	0.714606	0.744257	0.714606
	no ciclo	no ciclo	no ciclo	no ciclo	no ciclo	no ciclo	no ciclo	no ciclo
<b>NO. ETAPAS</b>	1	3	1	5	1	3	1	5
<b>Wcomp (W)</b>	116585	90566	116585	84665.4	116585	90565.523	116585	84665
<b>Q(1 comp) (W)</b>	-153851	0	-159044	0	-153851	0	-159044	0
<b>q etapas (w)</b>	0	-112459	0	127059	0	-112459.43	0	-127059
<b>q htx1 (W)</b>	11572	15372	3420	3484	21048	15372	3420	3484
<b>q htx2 (W)</b>	-----	-----	11222	11222	0	0	16642	11323
<b>q aux (w)</b>	0	0	0	0	-19232	-40280	-12436	-20345
<b>Q TOTAL SERV. AUX (W)</b>	-153851	-112459	-159044	127059	-173083	-152739.43	-171480	-147404
<b>Q TOTAL HTX (W)</b>	11572	15372	14642	14706	21048	15372	20062	14807

Tabla 5.24 Resultados de las Topologías acíclicas (continuación)

	3-1
<b>SERV. AUX.</b>	NO
<b>TOPOLOGÍA</b>	3
	<b>1/2</b>
<b>LIQUIDO</b>	0.128574
<b>VAPOR</b>	0.871426
<b>LIQUIDO</b>	0.224086
<b>VAPOR</b>	0.775914
	NO CICLO
<b>LIQUIDO TOTAL</b>	0.35266
<b>NO. ETAPAS</b>	1
<b>Wturbina (W)</b>	-278
<b>Wcomp (W)</b>	107240
<b>Q(1 comp) (W)</b>	-143266

Tabla 5.24 Resultados de las Topologías acíclicas (continuación)

<b>Q(1 comp) (W)</b>	-143266
<b>q etapas (w)</b>	----
<b>q htx1 (W)</b>	952
<b>q htx2 (W)</b>	13240
<b>q aux (w)</b>	0
<b>Q TOTAL SERV. AUX (W)</b>	-143266
<b>Q TOTAL HTX (W)</b>	14192

En la tabla 5.24 de las topologías acíclicas se puede observar que la tercera opción de topología (3-1) fue la que mayor cantidad de líquido obtuvo. La compresión se realizó en una sola etapa, y es por eso que su trabajo es muy alto, el trabajo que se pudo obtener de la turbina es pequeño. La cantidad de calor retirada en la etapa de compresión es baja comparada con la retirada en las otras topologías cuando la compresión se realizó en una sola etapa.

Tabla 5.25 Resultados de las Topologías cíclicas

	1-3	1-4	2-3	2-4	1-s2	1-s4	2-s2	2-s4
<b>SERV. AUX.</b>	NO	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI
<b>TOPOLOGÍA</b>	1	1	2	2	1	1	2	2
	<b>3/4</b>	<b>4/4</b>	<b>3/4</b>	<b>4/4</b>	<b>2/4</b>	<b>4/4</b>	<b>2/4</b>	<b>4/4</b>
<b>LIQUIDO</b>	0.113782	0.006799	0.016259	0.016258	0.314947	0.3149482	0.247441	0.314361
<b>VAPOR</b>	0.886218	0.993201	0.983741	0.983742	0.685053	0.6850518	0.752559	0.685639
	ciclo	ciclo	ciclo	ciclo	ciclo	ciclo	ciclo	ciclo
<b>NO. ETAPAS</b>	1	3	1	5	1	3	1	5
<b>Wcomp (W)</b>	1068334	2574531	1526075	1316520	398481	289402.576	402887	271117.1
<b>Q(1 comp) (W)</b>	-	0	-	0	-466461	0	-443297	0
<b>q etapas (w)</b>	0	-	0	-	0	-288108.32	0	-325537
<b>q htx1 (W)</b>	210343	305671	40061	40810	69272	38588	11135	9220
<b>q htx2 (W)</b>	-----	-----	139181	139194	0	0	27376	32563
<b>q aux (w)</b>	0	0	0	0	-44605	-113879	-70439	-56768

Tabla 5.25 Resultados de las Topologías cíclicas (continuación)

<b>Q TOTAL SERV. AUX (W)</b>	-	-	-	-	-511066	-401987.32	-513736	-382305
<b>Q TOTAL HTX (W)</b>	1180937	2615720	1591214	1381602	69272	38588	38511	41783

Tabla 5.25 Resultados de las Topologías cíclicas (continuación)

	3-2
<b>SERV. AUX.</b>	NO
<b>TOPOLOGÍA</b>	3
	<b>2/2</b>
<b>LIQUIDO</b>	0.059065
<b>VAPOR</b>	0.940935
<b>LIQUIDO</b>	0.32585
<b>VAPOR</b>	0.67415
	CICLO
<b>LIQUIDO TOTAL</b>	0.384915
<b>NO. ETAPAS</b>	1
<b>Wturbina (W)</b>	-1286
<b>Wcomp (W)</b>	728731
<b>Q(1 comp) (W)</b>	-839810
<b>q etapas (w)</b>	----
<b>q htx1 (W)</b>	139532
<b>q htx2 (W)</b>	32987
<b>q aux (w)</b>	0
<b>Q TOTAL SERV. AUX (W)</b>	-839810
<b>Q TOTAL HTX (W)</b>	172519

En la tabla 5.25 se observan las topologías cíclicas y la que mayor cantidad de líquido obtuvo fue la tercera (3-2). Requiere mucho trabajo en el compresor y la cantidad de calor retirada por el servicio auxiliar fue alta. El aprovechamiento de energía por parte de las corrientes de proceso fue bajo al compararlo con el de las demás topologías.