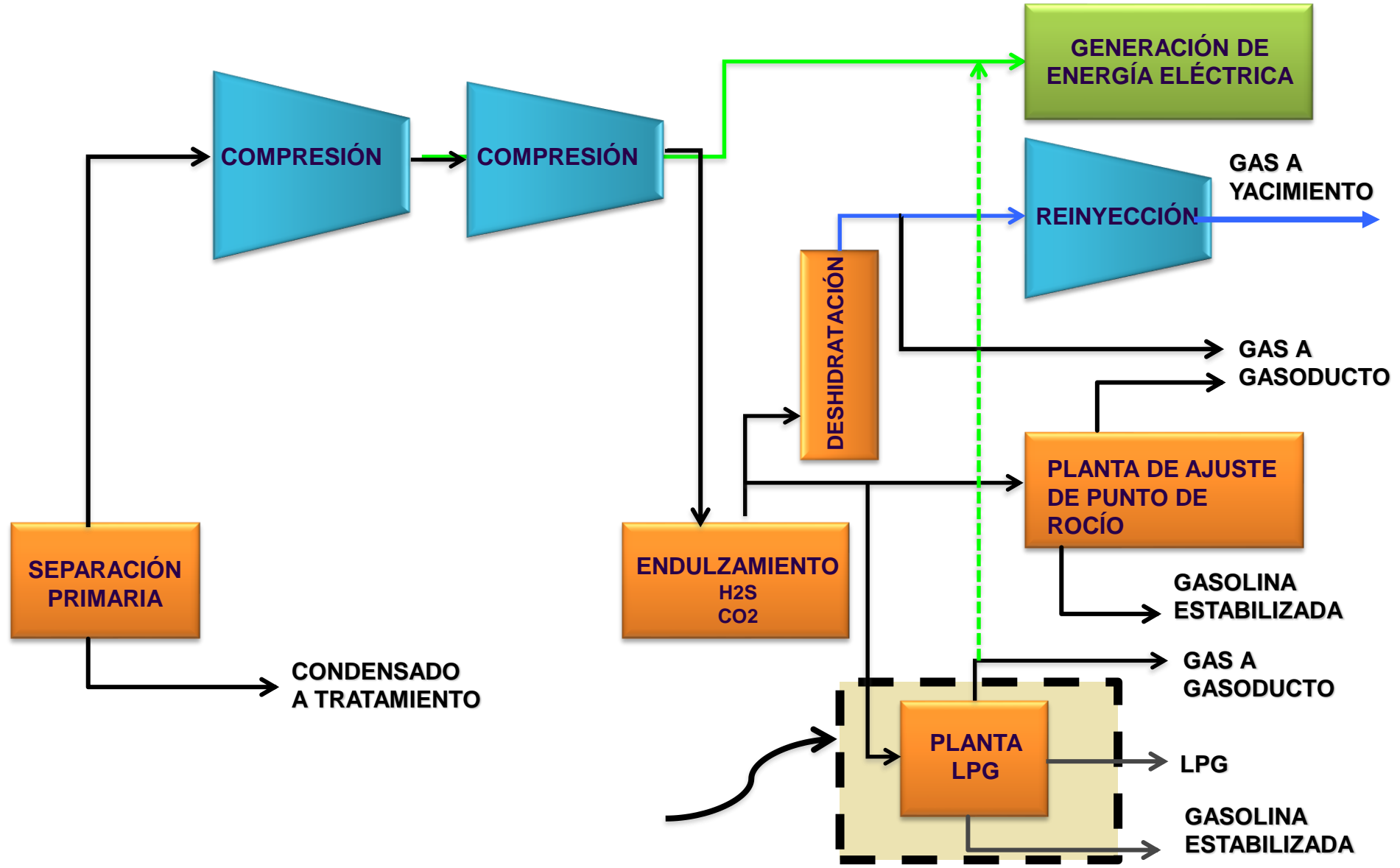


6.- SEPARACIÓN DE ETANO y LPG

ESQUEMA TÍPICO DE PROCESAMIENTO



Recuperación Hidrocarburos Líquidos del Gas natural (NGL)

**Objetivo: Recuperación
de Gases Licuables**

**C2 Etano
C3 Propano
C4 Butano
(o LPG Mezcla Propano-Butano)
GASOLINA**

Métodos:

**Turboexpansión
Adsorción
Refrigeración Mecánica
Absorción Refrigerada**

Recuperación Hidrocarburos Líquidos del Gas natural (NGL)

- **Adsorción:** con Tamices Moleculares, lecho de material sólido de estructura porosa, el cual retendrá selectivamente sobre su superficie hidrocarburos.
- **Refrigeración Mecánica:** El enfriamiento de un gas natural reduce la cantidad de vapores de hidrocarburo en equilibrio, comenzando a separarse en estado líquido por condensación. El nivel de recuperación logrado (propano, butanos, pentanos) dependerá del grado de enfriamiento que obtenga.
- **Absorción Refrigerada:** con solventes orgánicos. Es un proceso derivado del indicado anteriormente, en el cual se logra mejorar significativamente el rendimiento de recuperación, haciendo circular el gas en una torre a contracorriente de un líquido absorbente (aeronafta o kerosene).

Recuperación Hidrocarburos Líquidos del Gas natural (NGL)

- **Turboexpansión:** Consiste básicamente en una expansión Joule-Thompson (isoentrópica), con el agregado de una turbina de flujo radial.
- Es un proceso de expansión, en el cual las moléculas quedan mas separadas, consumiendose trabajo para vencer las fuerzas intermoleculares que tienden a juntarlas. Dicho trabajo se realiza a expensas de la propia energía cinética del gas, disminuyendo por lo tanto la energía interna y en consecuencia la temperatura.
- La característica mas notable de esta proceso es que al trabajo de expansión se le suma el trabajo de impulsar la turbina a medida que el gas va expandiéndose; obteniéndose en consecuencia mayor grado de enfriamiento, puesto que se absorbe el calor equivalente al trabajo mecánico realizado.

Planta de Recuperación de NGL – Turboexpansión

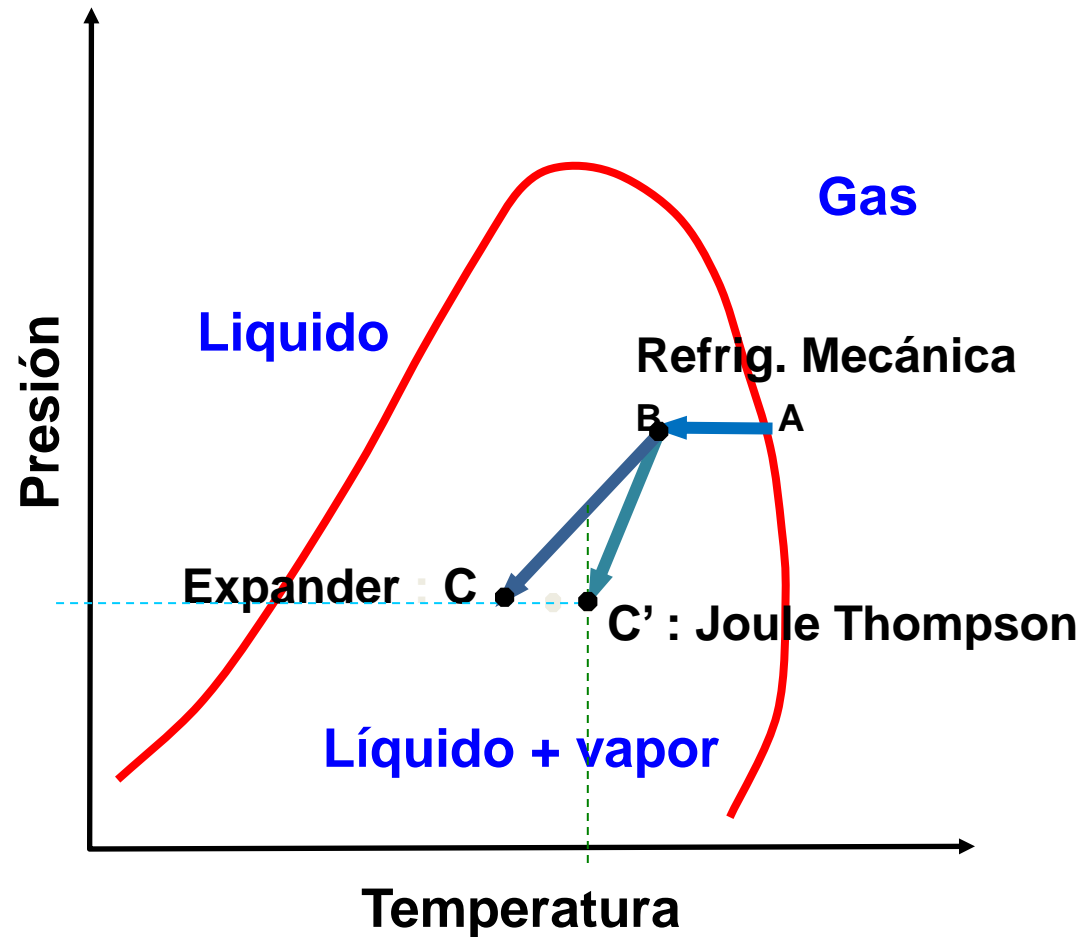
❖ PROCESO:

Expansión de un gas de alta presión produciéndose un enfriamiento a muy baja temperatura (-90°C / -100°C) obteniéndose trabajo mecánico y condensación de líquidos.

La corriente líquida (NGL) se separa en Etano, Propano, Butano y Gasolina en un Tren de Fraccionamiento.

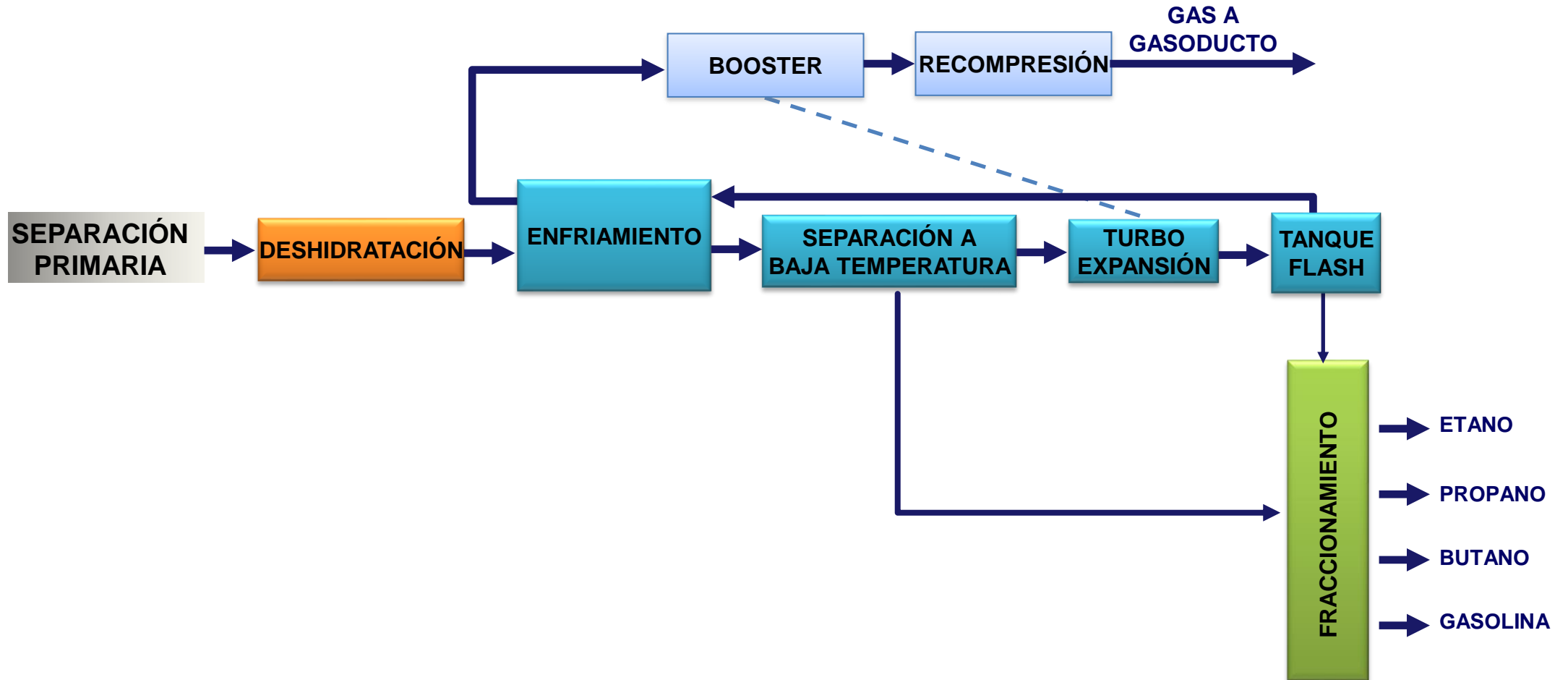
Planta de Recuperación de NGL – Turboexpansión

DIAGRAMA DE FASES



Planta de Recuperación de NGL – Turboexpansión

DIAGRAMA DE BLOQUES



CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO

Variables de Proceso

- Composición del gas
- Presión
- Temperatura
- Recuperación requerida
- Caudal

Limpieza del Gas

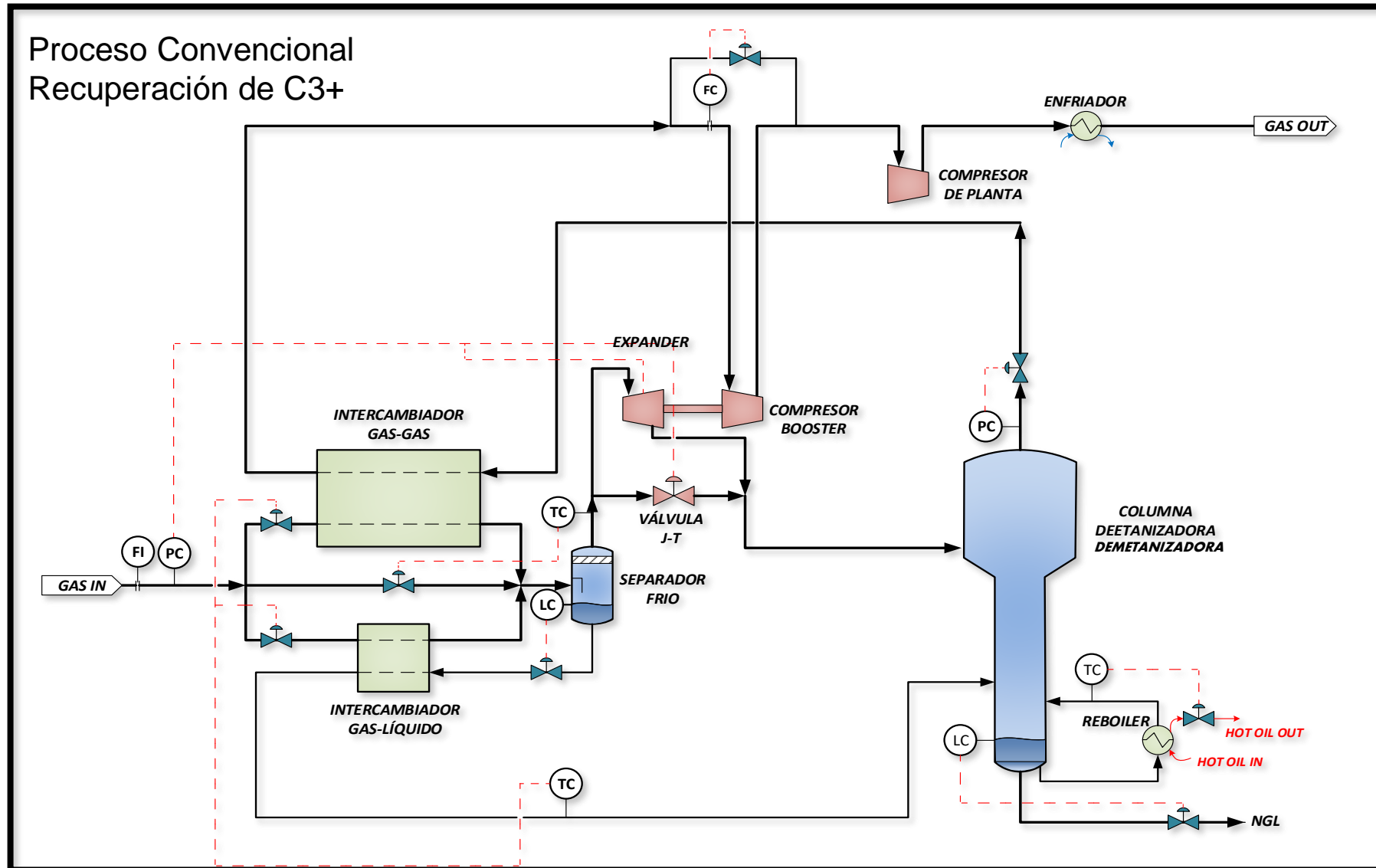
Selección de Materiales

Planta de Recuperación de NGL – Datos de Alimentación

PRESIÓN	66 Kg/cm2 (G)
TEMPERATURA	50 °C
CAUDAL	1 MMSCMD
RECUP. C3	95%
COMPOSICIÓN (Base Seca)	% molar
N2	0.30
CO2	0.70
C1	87.70
C2	5.00
C3	3.00
iC4	1.00
nC4	0.60
iC5	0.50
nC5	0.40
C6	0.50
C7+	0.30
TOTAL	100.00

Alimentación
(ejemplo)

Planta de Recuperación de NGL – Turboexpansión: Diagrama

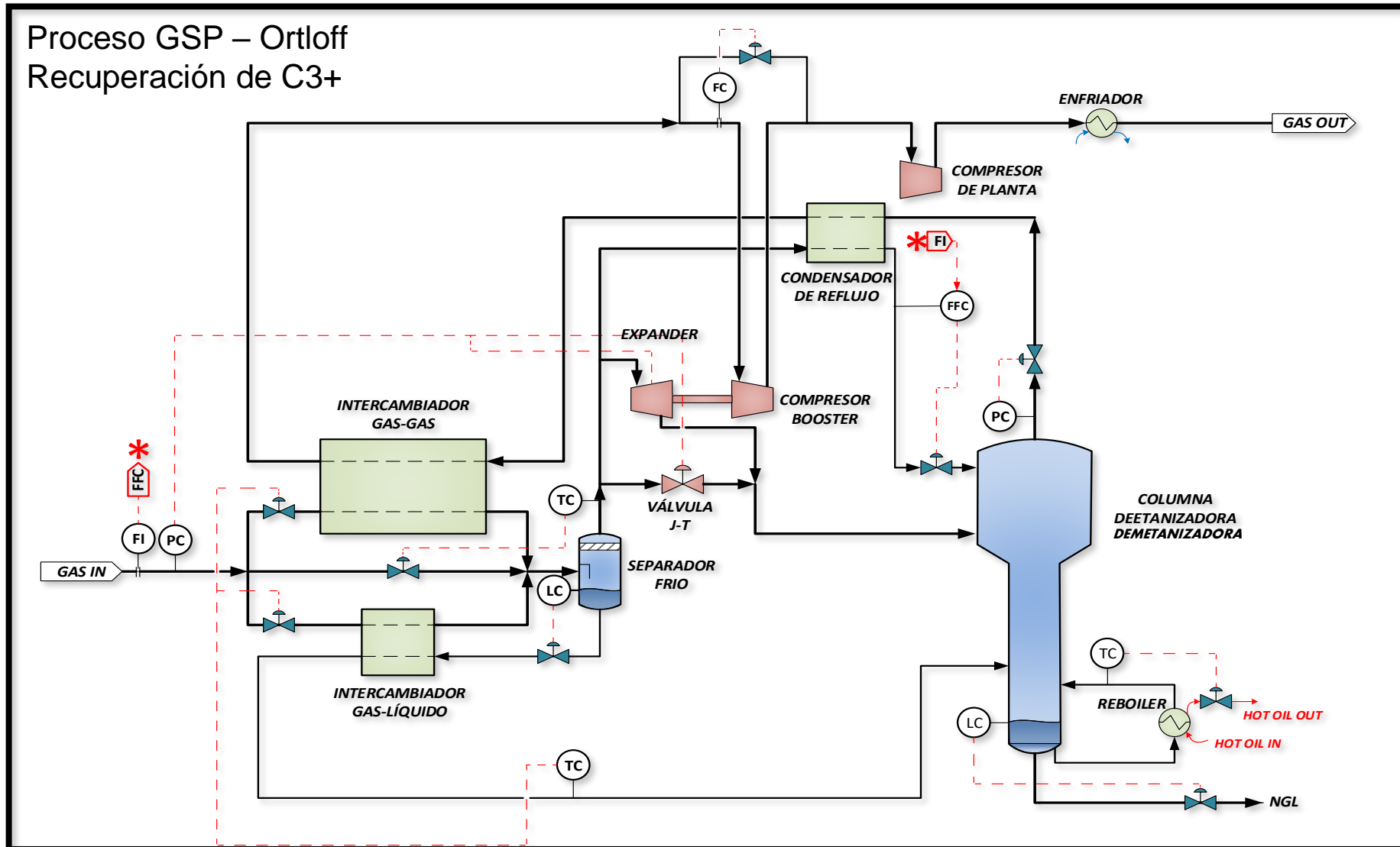


Planta de Recuperación de NGL – Balance de Masa

BALANCE DE MASA (Proceso Convencional)

		GAS ENTRADA		GAS DE VENTA			NGL		
Fración de Vapor		1			1		0		
Temperatura	C	50,0			50,0		51,2		
Presión	kg/cm2_g	66,0			66,0		9,0		
Flujo Molar	Sm3/día	1000000			937800		109,5		
Flujo Másico	kg/h	34574			28210		6359		
Densidad	kg/m3	62,4			46,7		534,4		
Peso Molecular		19,6			17,1		58,06		
Z Factor		0,8245			0,8949		---		
Densidad Std	kg/m3	---			---		580,3		
COMPOSICIÓN									
		Kmol/ h	% mol	Kmol/ h	% mol	% recup	Kmol/ h	% mol	% recup
N2		5,3	0,3%	5,3	0,32%	100%	0,0	0,0%	0%
CO2		12,3	0,7%	12,3	0,75%	100%	0,0	0,0%	0%
C1		1545,5	87,7%	1545,5	93,51%	100%	0,0	0,0%	0%
C2		88,1	5,0%	87,1	5,27%	98,9%	1,0	0,9%	1,1%
C3		52,9	3,0%	2,4	0,14%	4,5%	50,5	46,09%	95,5%
i-C4		17,6	1,0%	0,09	0,01%	0,5%	17,5	16,01%	99,5%
n-C4		10,6	0,6%	0,02	0,0%	0,2%	10,6	9,63%	99,8%
i-C5		8,8	0,5%	0,00	0,0%	0%	8,8	8,04%	100%
n-C5		7,0	0,4%	0,00	0,0%	0%	7,0	6,44%	100%
C6		8,8	0,5%	0,00	0,0%	0%	8,8	8,04%	100%
C7+		5,3	0,3%	0,00	0,0%	0%	5,3	4,84%	100%
TOTAL		1762,2		1652,6			109,5		

Planta de Recuperación de NGL – Turboexpansión: Diagrama



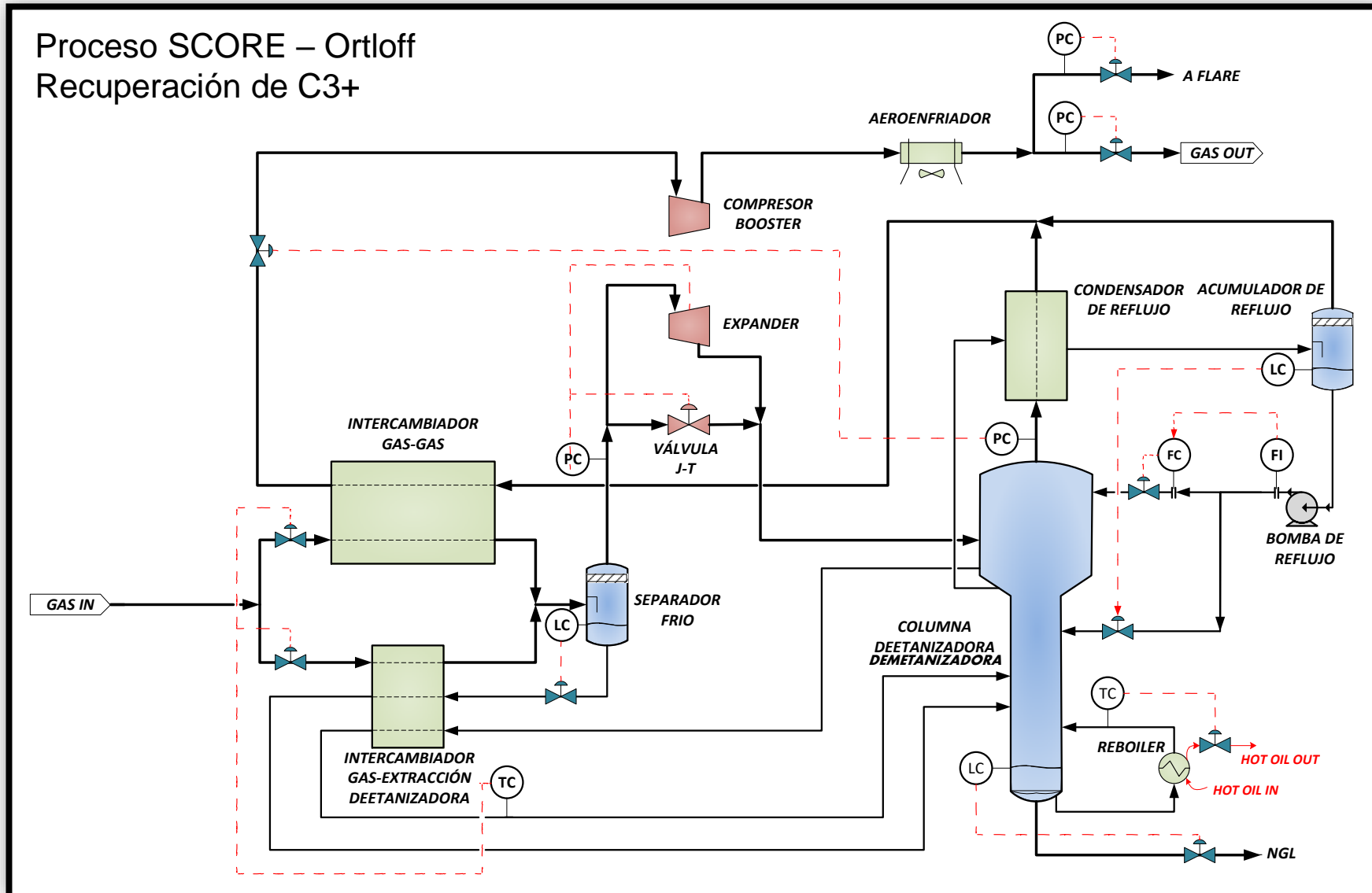
Planta de Recuperación de NGL – Balance de Masa

BALANCE DE MASA (Proceso GSP)

		GAS ENTRADA		GAS DE VENTA			NGL		
Fración de Vapor		1		1			0		
Temperatura	C	50,0		50,0			76,8		
Presión	kg/cm2_g	66,0		66,0			15,4		
Flujo Molar	Sm3/día	1000000		938000			109,5		
Flujo Másico	kg/h	34574		28220			6355		
Densidad	kg/m3	62,4		46,7			496,4		
Peso Molecular		19,6		17,1			58,05		
Z Factor		0,8245		0,8949			---		
Densidad Std	kg/m3	---		---			580,3		
COMPOSICIÓN									
		Kmol/ h	% mol	Kmol/ h	% mol	% recup	Kmol/ h	% mol	% recup
N2		5,3	0,3%	5,3	0,32%	100%	0,0	0,0%	0%
CO2		12,3	0,7%	12,3	0,75%	100%	0,0	0,0%	0%
C1		1545,5	87,7%	1545,5	93,51%	100%	0,0	0,0%	0%
C2		88,1	5,0%	87,1	5,27%	98,9%	1,0	0,9%	1,1%
C3		52,9	3,0%	2,4	0,14%	4,5%	50,5	46,14%	95,5%
i-C4		17,6	1,0%	0,12	0,01%	0,7%	17,5	15,98%	99,3%
n-C4		10,6	0,6%	0,04	0,0%	0,4%	10,5	9,62%	99,6%
i-C5		8,8	0,5%	0,00	0,0%	0%	8,8	8,04%	100%
n-C5		7,0	0,4%	0,00	0,0%	0%	7,0	6,43%	100%
C6		8,8	0,5%	0,00	0,0%	0%	8,8	8,04%	100%
C7+		5,3	0,3%	0,00	0,0%	0%	5,3	4,83%	100%
TOTAL		1762,2		1652,9			109,5		

Planta de Recuperación de NGL – Turboexpansión: Diagrama

Proceso SCORE – Ortloff
Recuperación de C3+



Planta de Recuperación de NGL – Balance de Masa

BALANCE DE MASA (Proceso SCORE)

		GAS ENTRADA		GAS DE VENTA			NGL		
Fración de Vapor		1			1		0		
Temperatura	C	50,0			50,0		106,2		
Presión	kg/cm2_g	66,0			66,0		25,6		
Flujo Molar	Sm3/día	1000000			938100		109,5		
Flujo Másico	kg/h	34574			28220		6359		
Densidad	kg/m3	62,4			46,7		442,2		
Peso Molecular		19,6			17,1		58,08		
Z Factor		0,8245			0,8949		---		
Densidad Std	kg/m3	---			---		580,4		
COMPOSICIÓN									
		Kmol/ h	% mol	Kmol/ h	% mol	% recup	Kmol/ h	% mol	% recup
N2		5,3	0,3%	5,3	0,32%	100%	0,0	0,0%	0%
CO2		12,3	0,7%	12,3	0,75%	100%	0,0	0,0%	0%
C1		1545,5	87,7%	1545,5	93,51%	100%	0,0	0,0%	0%
C2		88,1	5,0%	87,1	5,27%	98,9%	1,0	0,9%	1,1%
C3		52,9	3,0%	2,6	0,15%	4,9%	50,3	45,97%	95,1%
i-C4		17,6	1,0%	0,0	0,0%	0%	17,6	16,09%	100%
n-C4		10,6	0,6%	0,0	0,0%	0%	10,6	9,66%	100%
i-C5		8,8	0,5%	0,0	0,0%	0%	8,8	8,05%	100%
n-C5		7,0	0,4%	0,0	0,0%	0%	7,0	6,44%	100%
C6		8,8	0,5%	0,0	0,0%	0%	8,8	8,05%	100%
C7+		5,3	0,3%	0,0	0,0%	0%	5,3	4,83%	100%
TOTAL		1762,2		1653,1			109,5		

Planta de Recuperación de NGL – Turboexpansión



Planta de Recuperación de NGL – Comparación de los Procesos

ESPECIFICACIONES DE LOS PRODUCTOS

Producto	Especificación	Valor	Convencional	GSP	SCORE
GAS RESIDUAL	Punto de Rocío de Hidrocarburo	-4 C @ 55 bara	No existe	No Existe	No Existe
	Contenido de Agua	< 65 mg/Sm ³	0,08	0,08	0,08
	Contenido CO ₂	< 2% molar	0,75%	0,75%	0,75%
	Inertes	< 4% molar	1,07%	1,07%	1,07%
	Poder Calorífico Superior	8850 a 10200 kcal/Sm ³	9270 kcal/Sm ³	9271 kcal/Sm ³	9270 kcal/Sm ³
NGL	% C ₂ /C ₃	≤ 2%	2%	2%	2%

¿QUÉ CAMBIA ENTONCES?

Valor	Convencional	GSP	SCORE
Potencia de Recompresión	3762 kW	1891 kW	1145 kW
Caudal C ₃ +	11 m ³ /h	11 m ³ /h	11 m ³ /h
Eficiencia	78 hp/gpm	52,6 hp/gpm	31,8 hp/gpm

PROBLEMAS

- Contaminantes en el Gas de entrada
- Agua en la sección criogénica
- Dióxido de Carbono (CO₂)
- Sulfuro de Hidrógeno (H₂S)

LIMPIEZA DEL GAS

- **Contaminantes en el Gas de entrada**
 - **Sólidos**
 - **Mercurio:** Intercambiadores de Placas de Aluminio
Colectores, Distribuidores y Conexiones: Al 5083, que tiene un 4.5% de contenido de Mg. Las soldaduras precipitan Al_3Mg_2 .
$$4\text{Hg} + \text{Al}_3\text{Mg}_2 \rightarrow 2 \text{MgHg}_2 + 3\text{Al}$$
 - **Proceso Regenerativo**
 - **Proceso No Regenerativo**

Planta de Recuperación de NGL – Turboexpansión

LIMPIEZA DEL GAS

- Agua en la sección criogénica



Planta de Recuperación de NGL – Turboexpansión

LIMPIEZA DEL GAS

- Dióxido de Carbono (CO₂)

Valor	Convencional	GSP	SCORE
CO2 Freeze Temp	-113 °C	-123 °C	-104 °C
Temp Mínima	-107 °C	-109 °C	-79 °C
Delta Temp	6 °C	14 °C	25 °C



Planta de Recuperación de NGL – Turboexpansión

LIMPIEZA DEL GAS

- **Sulfuro de Hidrógeno (H₂S)**

PM: 34; C₂H₆: 30; C₃H₈: 44

- ✓ ASTM D-2784 Contenido de H₂S
- ✓ ASTM D-1838 Copper Strip Corrosion Test



Planta de Recuperación de NGL – Turboexpansión

SELECCIÓN DE MATERIALES

- Temperatura

TABLE A-19

MINIMUM DESIGN TEMP		PLATES		STRUCTURAL NONPRESS	PIPING	TUBING	FORGINGS & FITTINGS	CASTINGS	FASTENERS
		SHELLS AND HEADS	TRAYS						
COMPLY WITH CODES – NO SPECIAL FRACTURE TOUGHNESS REQUIREMENTS									
57	135	APPLICATIONS FOR ASME BOILER AND PRESSURE VESSEL CODE, SECT. VIII DIVISIONS 1 AND 2: FOLLOW FIGURE USC-66 FOR DIVISION 1 AND FIGURE AM-218.1 FOR DIVISION 2 FOR MAT'L SELECTION AND IMPACT TEST REQUIREMENTS.	①	A36 OR A283	API 5L GR. B, A53 GR. B, A106 GR. B OR A671	NO SPECIAL REQUIREMENT	A105 OR A234 ③ ④	A216 GRADE WCB ④	
-6	20			FOR NON-CRITICAL A36, OTHERWISE SAME AS PLATE FOR PIPING	A53 GR. B SEAMLESS A106 GR. B OR A671 ④		A105 A234 A727 OR A758 ③ ④	A352 GRADE LCB (NOT IMPACT TESTED)	A193 GRADE B7
-17	0	PREFERRED MATERIAL: A 516 (ALL GRADES) ② ④ ⑬ ⑭	SAME AS VESSEL EXCEPT NO SPECIAL REQUIREMENTS FOR BOLTED TRAYS <10GA	⑬	A106 GR. B OR A524 ④	A334 GRADE 6 OR A179 ④ ⑦ ⑭	A707 GR. L1 (ONLY), A727 OR A758 ④ ⑬	④ ⑭	A194 GRADE 2H
-30	-20				A333 GR. 6 ④ ⑭		A350 GR. LF1 OR LF2, A420 GR. WPL6 OR A707 GR. L2 (ONLY) ④ ⑭		A352 GRADE LCB
-46	-50	FOR ASME SECTION VIII, DIVISIONS 1 & 2 USE A203 OR A537 AS APPLICABLE FOR MAT'L AND IMPACT TEST REQUIREMENTS A203 GRADE D ② ①	SAME AS VESSEL TYPE 304 OR ALUMINUM	SAME AS PLATE OR PIPING	A333 GRADE 7 TO -74 °C/ -100 °F	A334 GRADE 3	A350 GRADE LF3	A352 GRADE LC1	A320 GRADE L7 A194 GRADE 4
-60	-75				A333 GRADE 3				A352 GRADE LC2 TO -74C/-100F A352 GR. LC3
-100	-150	A553 OR A353 ② ⑬ ⑭ (TO -196 C/ -320 F) A240 TYPE 304 ⑤	A353 OR A553 TYPE 1 TYPE 304	A333 GR. 8 ⑬	A334 GRADE 8 ⑬	A522 TP. ⑬ A420 (WPL8) A182 TP. 304 ⑤ TP. 304 ⑤ B241 (6061) B234 (6061) B247/361 (6061)	A351 GRADE CF8 ⑩	A320, GR. 8B A194, GR. 8 ANNEALED B211 TP 2024-T6	
-200	-325	B209 AL ALLOY 5083/5456 A240 TYPE 304 ⑤ ⑨	ALUMINUM TYPE 304 ⑤ ⑨	A312 TP. 304 ⑤ B241 ⑤	A213 TP. 304 ⑤ A182, F 304 ⑤ ⑨	A403, WP 304	A351 GRADE CF8 ⑤ ⑨	SAME AS ABOVE (I.E. GR. 8 OR 2024-T6) ⑧ ⑨	
-255	-425	B209 AL ALLOY 5083/5456 ⑧	ALUMINUM ⑧	B241 ⑧ ALLOY 6061	B234 ⑧ ALLOY 6061	B247/361 ⑧ ALLOY 6061			

NOTE: THE NUMBERS IN CIRCLES CORRESPOND TO FOOTNOTE NUMBERS ON THE FOLLOWING PAGES

Fuente: Materials Selection for Gathering for Petroleum Refineries and Gathering Facilities R.A.White - NACE International

- Componentes Ácidos

EQUIPOS

- **Filtro de Gas**
- **Deshidratadores (tamices moleculares)**
- **Intercambiadores**
- **Separador frío**
- **Turboexpander**
- **Columna demetanizadora o deetanizadora**
- **Columnas fraccionadoras de NGL**

Planta de Recuperación de NGL – Turboexpansión

FILTRO SEPARADOR

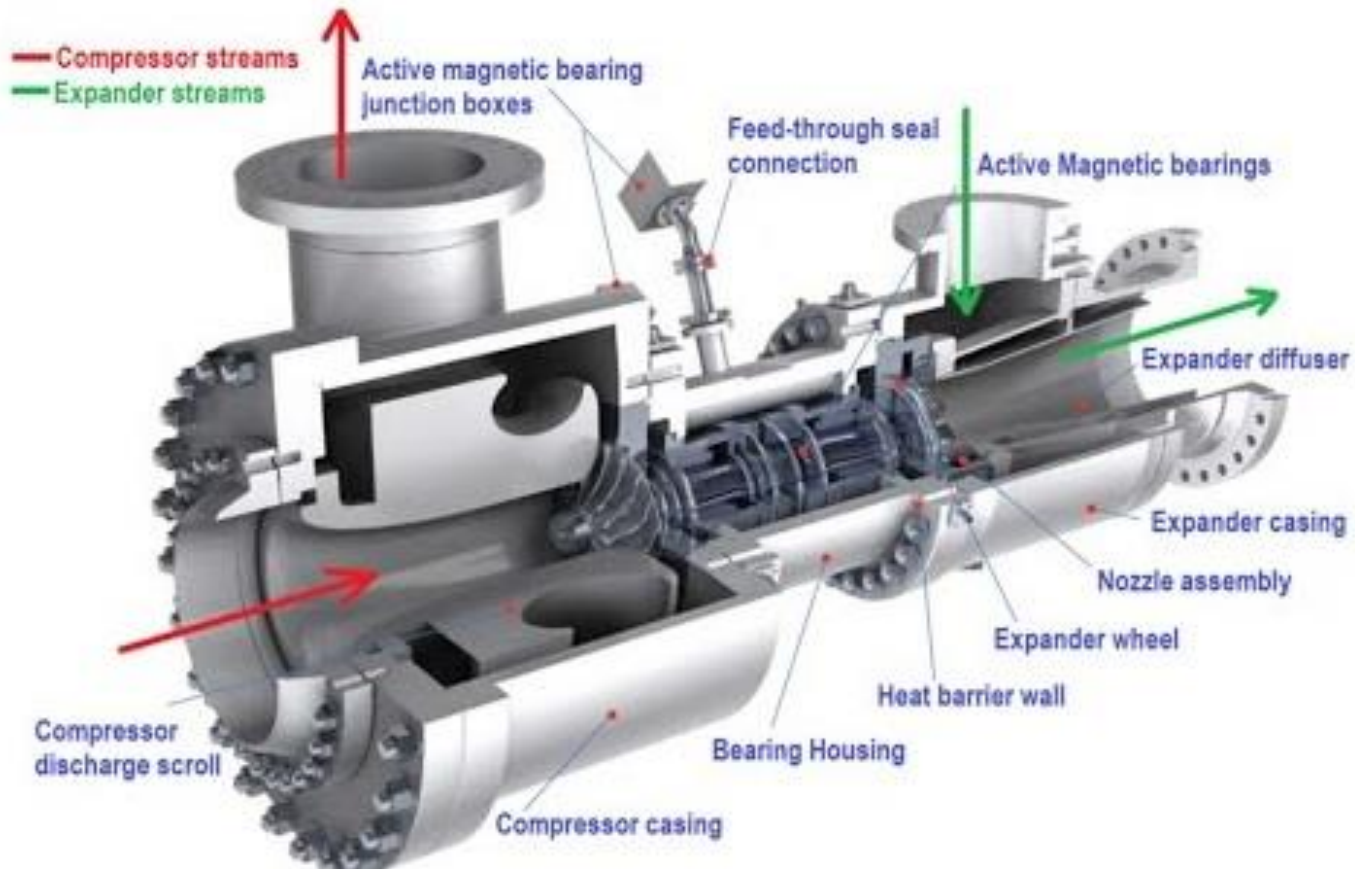


Planta de Recuperación de NGL – Turboexpansión

LECHOS CON TAMICES MOLECULARES (Deshidratación)



Planta de Recuperación de NGL – Turboexpansión

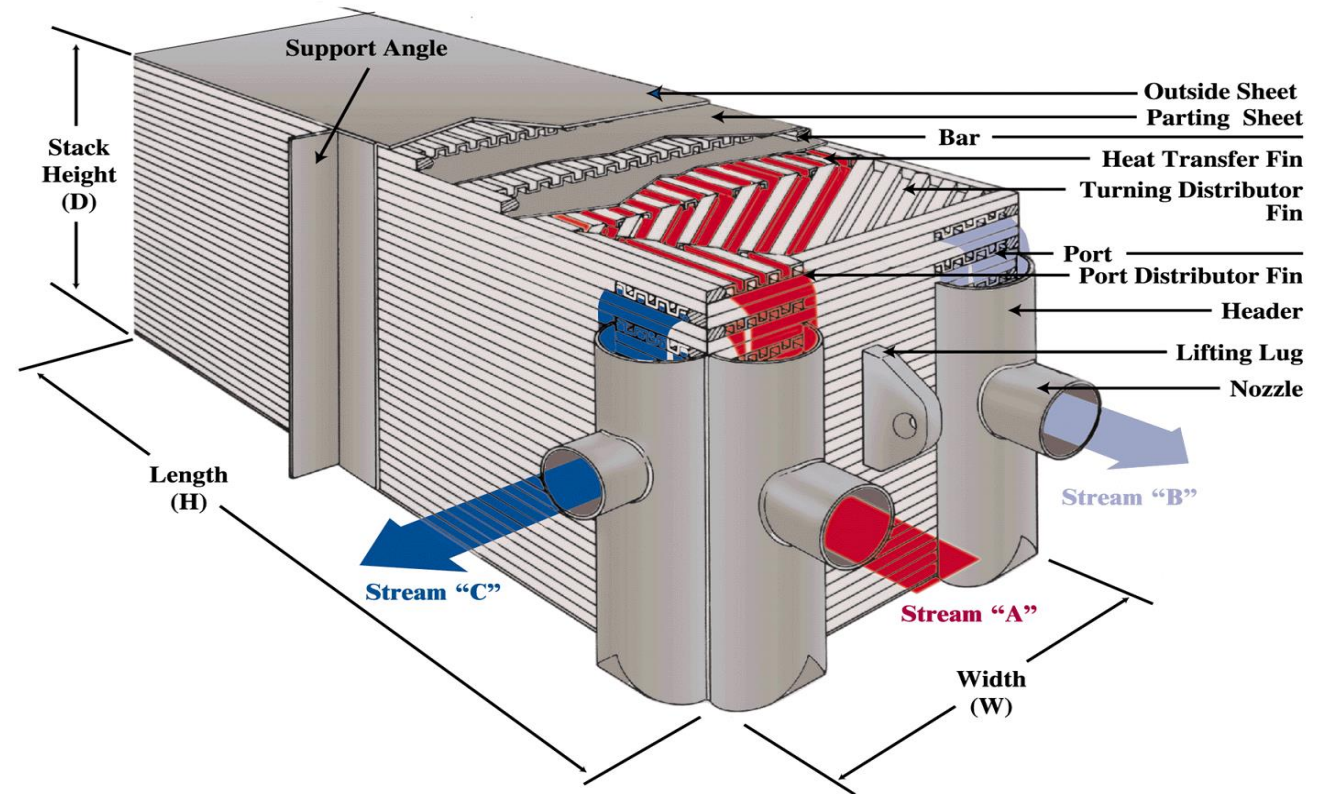


Turboexpander



Planta de Recuperación de NGL – Turboexpansión

INTERCAMBIADOR DE PLACAS



Planta de Recuperación de NGL – Turboexpansión



Separador Frío

Columnas



Planta de Recuperación de NGL – Turboexpansión

Flare

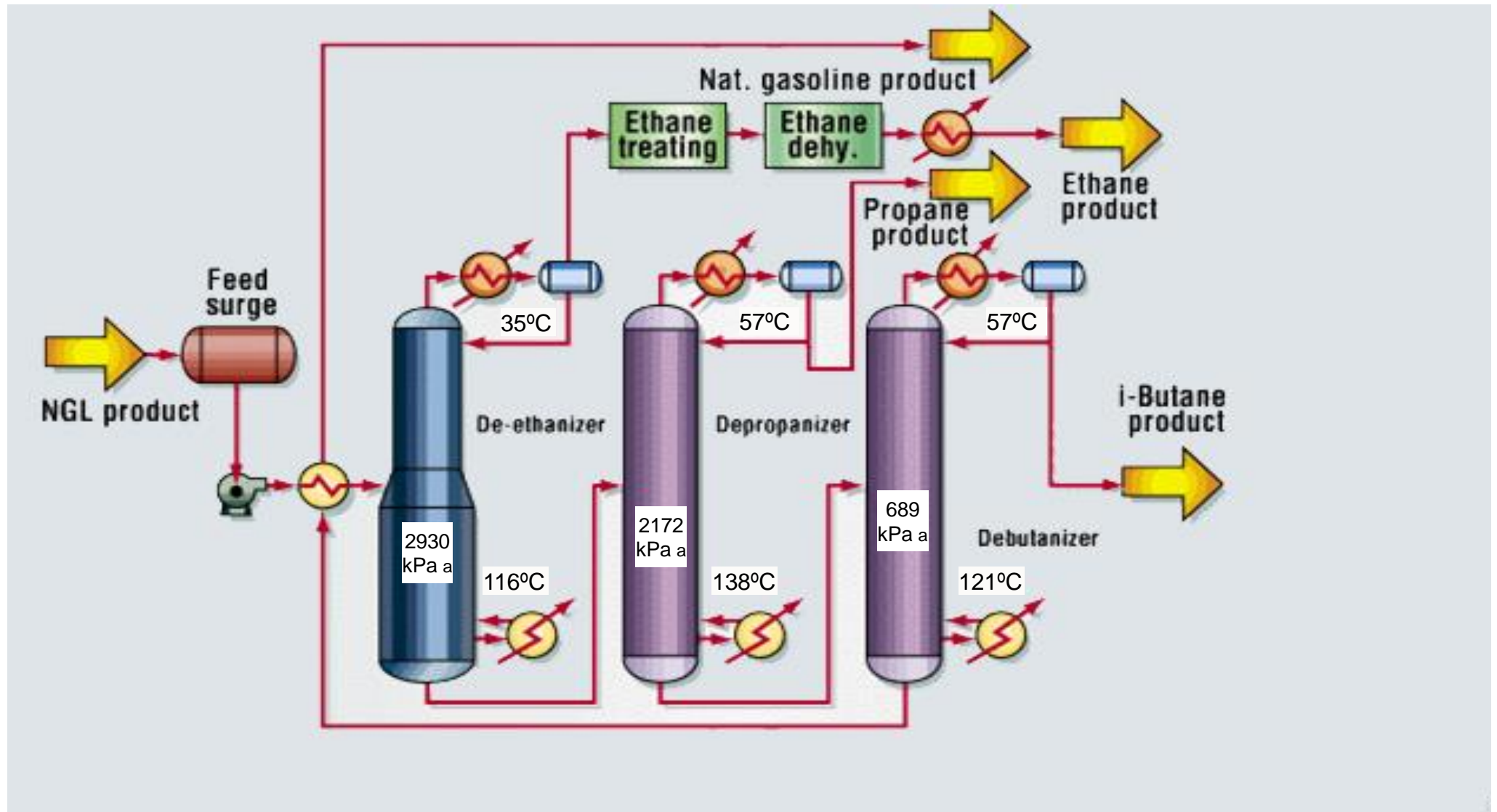


Hornos Hot Oil



FRACCIONAMIENTO

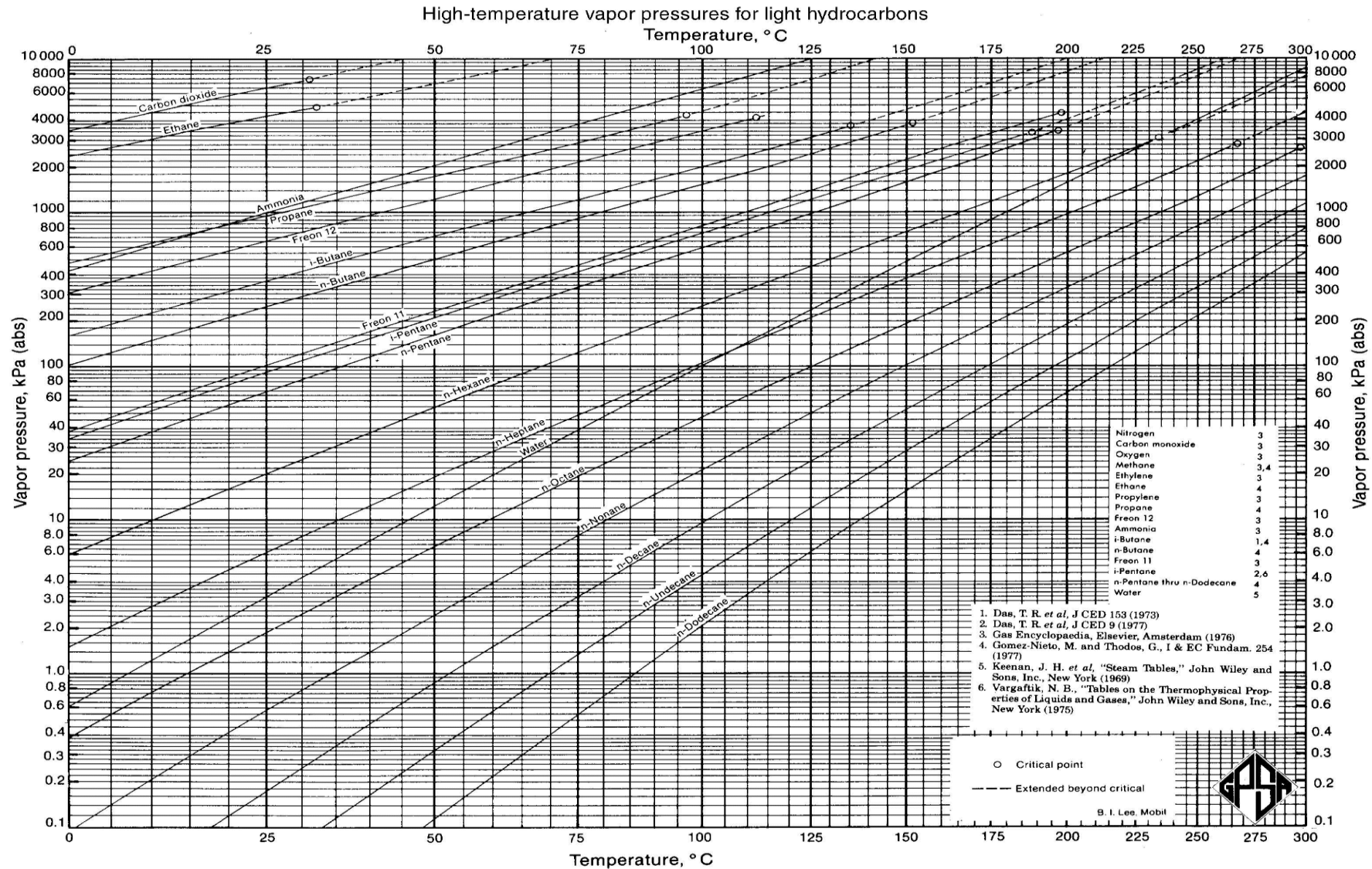
Tren de Fraccionamiento (típico para obtención de C2, C3 y C4)



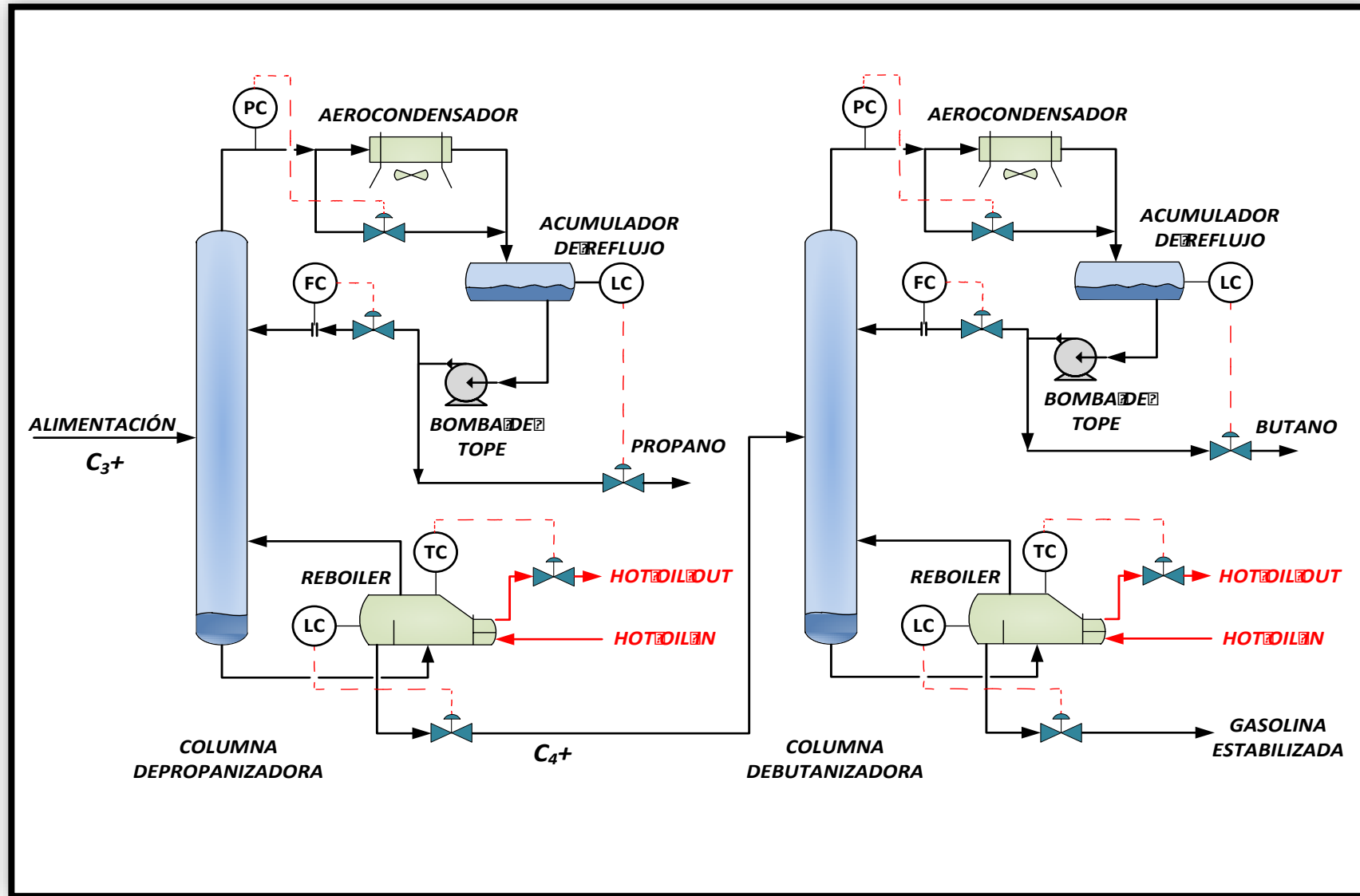
Preguntas:

- 1. ¿Cuál es la metodología para definir las condiciones de operación (presión y temperatura) de una columna de destilación?**
- 2. ¿Cómo debería ser el esquema de procesamiento del tren de fraccionamiento si solo se desea producir LPG? Conviene este esquema? Justifique.**

Recuperación Hidrocarburos Líquidos (NGL's)



Tren de Fraccionamiento (típico para obtención de C3 y C4)



Tren de Fraccionamiento – Especificaciones de Productos (C3 /C4)


Propano Comercial: PV < 208 psi @100°F (1434 kPa a 37,8° C)
C4+ < 2.5%v.
Evap: 95% a < -38,3° C a 1 atm.
Corrosión: Tira de Cobre, max. No. 1
Azufre Total 185 mg/kg

Butano Comercial: PV < 70 psi @100°F (482,6 kPa a 37,8° C)
C5+ < 2.0%v
Evap: 95% a < 2,2° C a 1 atm.
Corrosión: Tira de Cobre, max. No. 1
Azufre Total 140 mg/kg

Mezcla Propano-Butano: PV < 208 psi @ 100°F (1434 kPa @ 37,8° C)
C5+ < 2%v
Evap: 95% a < 2,2° C a 1atm.
Proporción 50-50; 60-40; 70-30; 80-20 (vol/vol)
Corrosión: Tira de Cobre, max. No. 1
Azufre Total 140 mg/kg



OTROS PROCESOS

- **Adsorción**
 - **Refrigeración mecánica**
 - **Absorción Refrigerada**
- 

Planta de Recuperación de NGL – Otros Procesos

- **Adsorción:** con Tamices Moleculares, lecho de material sólido de estructura porosa, el cual retiene selectivamente sobre su superficie, hidrocarburos.
- **Refrigeración Mecánica:** El enfriamiento de un gas natural reduce la cantidad de vapores de hidrocarburo en equilibrio, comenzando a separarse en estado líquido por condensación. El nivel de recuperación logrado (propano, butanos, pentanos) dependerá del grado de enfriamiento.
- **Absorción Refrigerada:** con solventes orgánicos. Es un proceso derivado del indicado anteriormente, en el cual se logra mejorar significativamente el rendimiento de recuperación, haciendo circular el gas en una torre a contracorriente de un líquido absorbente (aeronafta o kerosene).

Planta de Recuperación de LPG por Adsorción

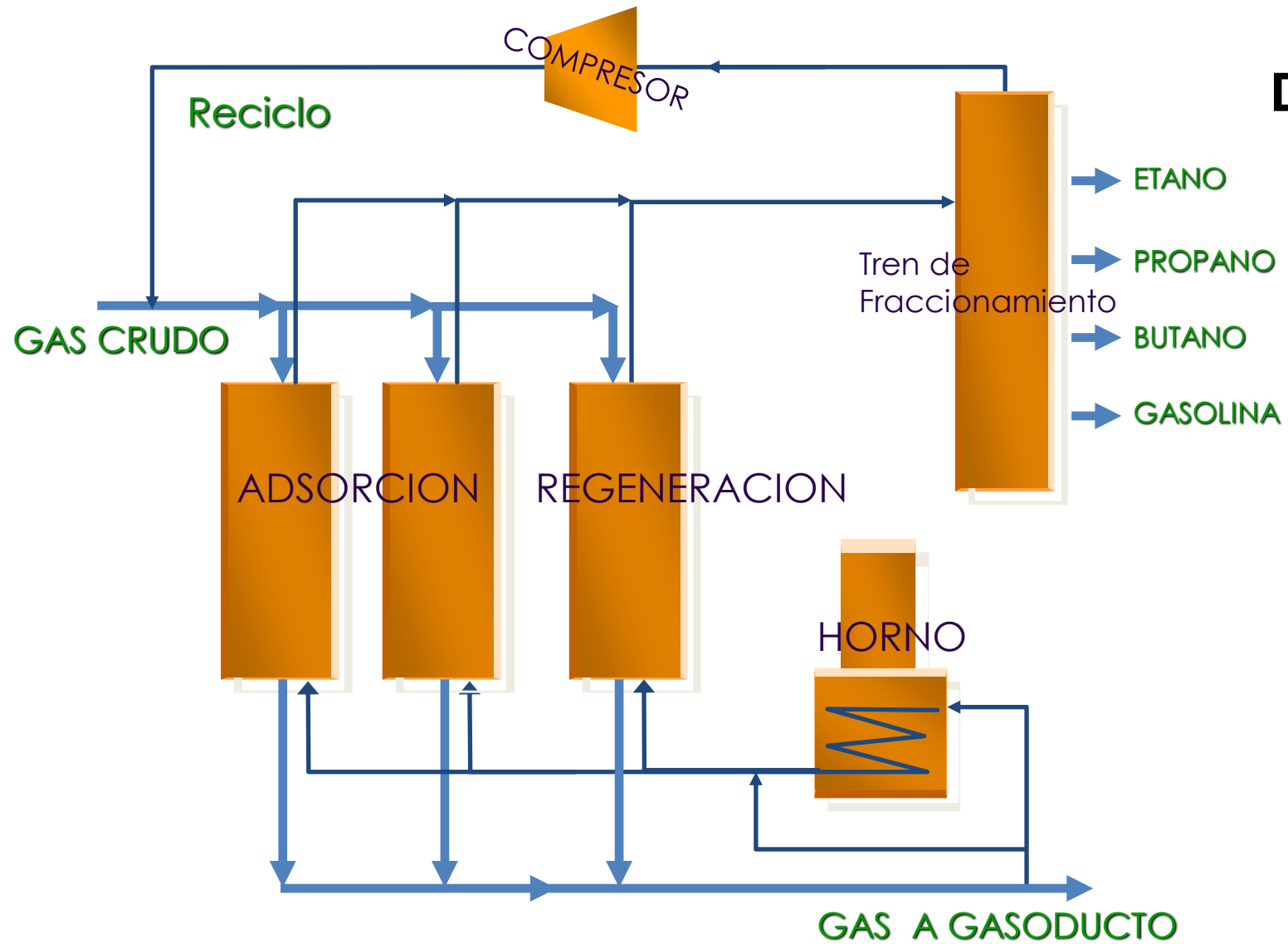
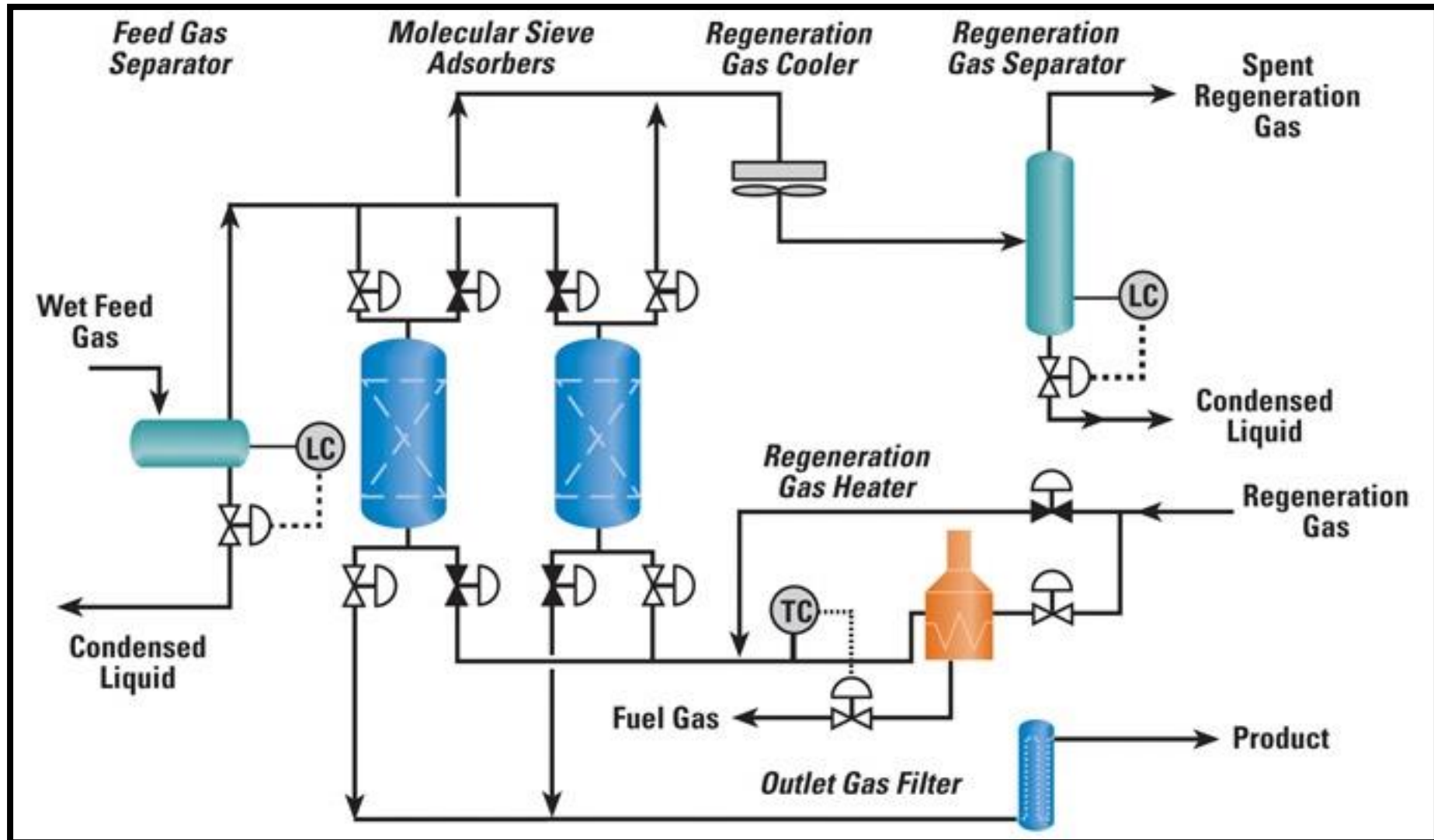
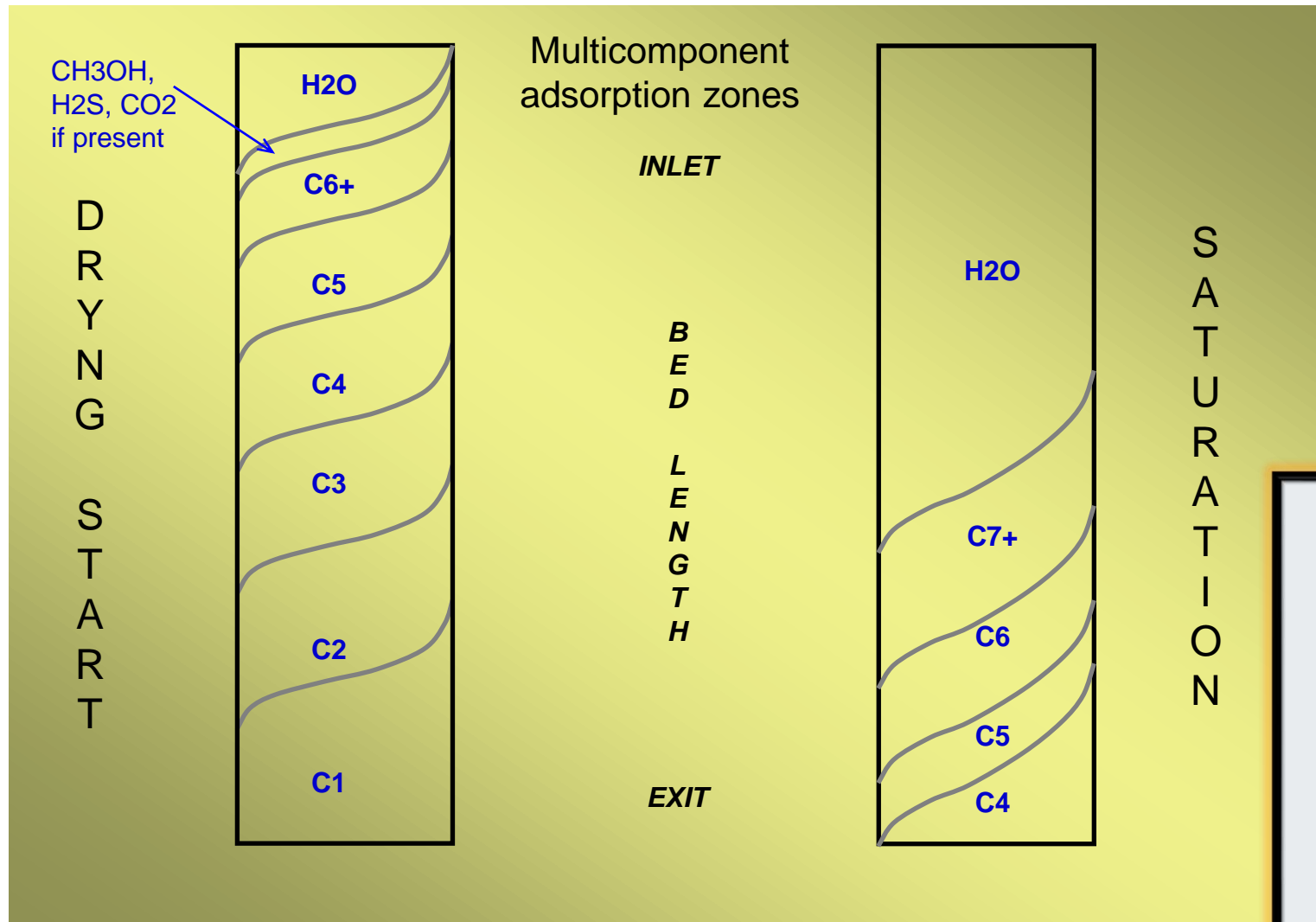


Diagrama de bloques

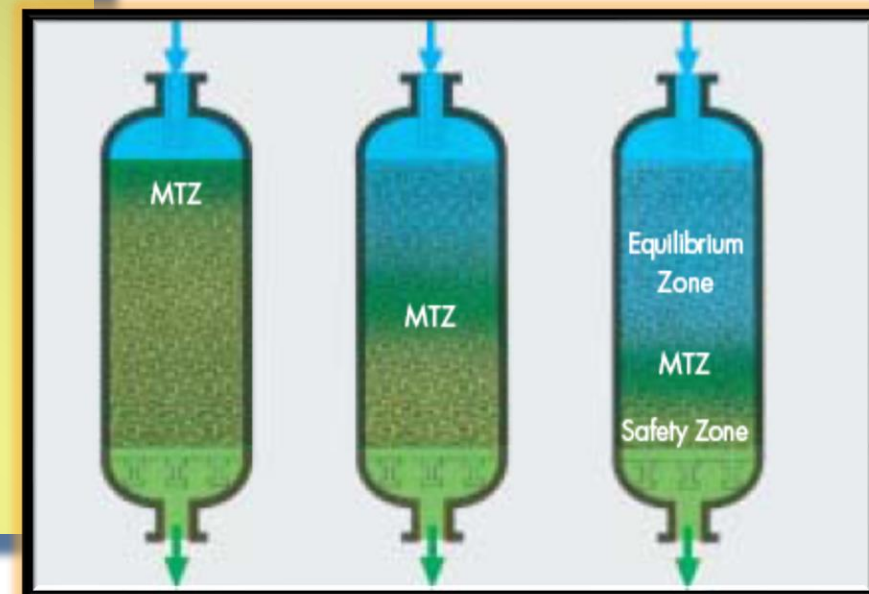
Planta de Recuperación de LPG por Adsorción



Planta de Recuperación de LPG por Adsorción



Transferencia de masa



Planta de Recuperación de LPG por Refrigeración Mecánica

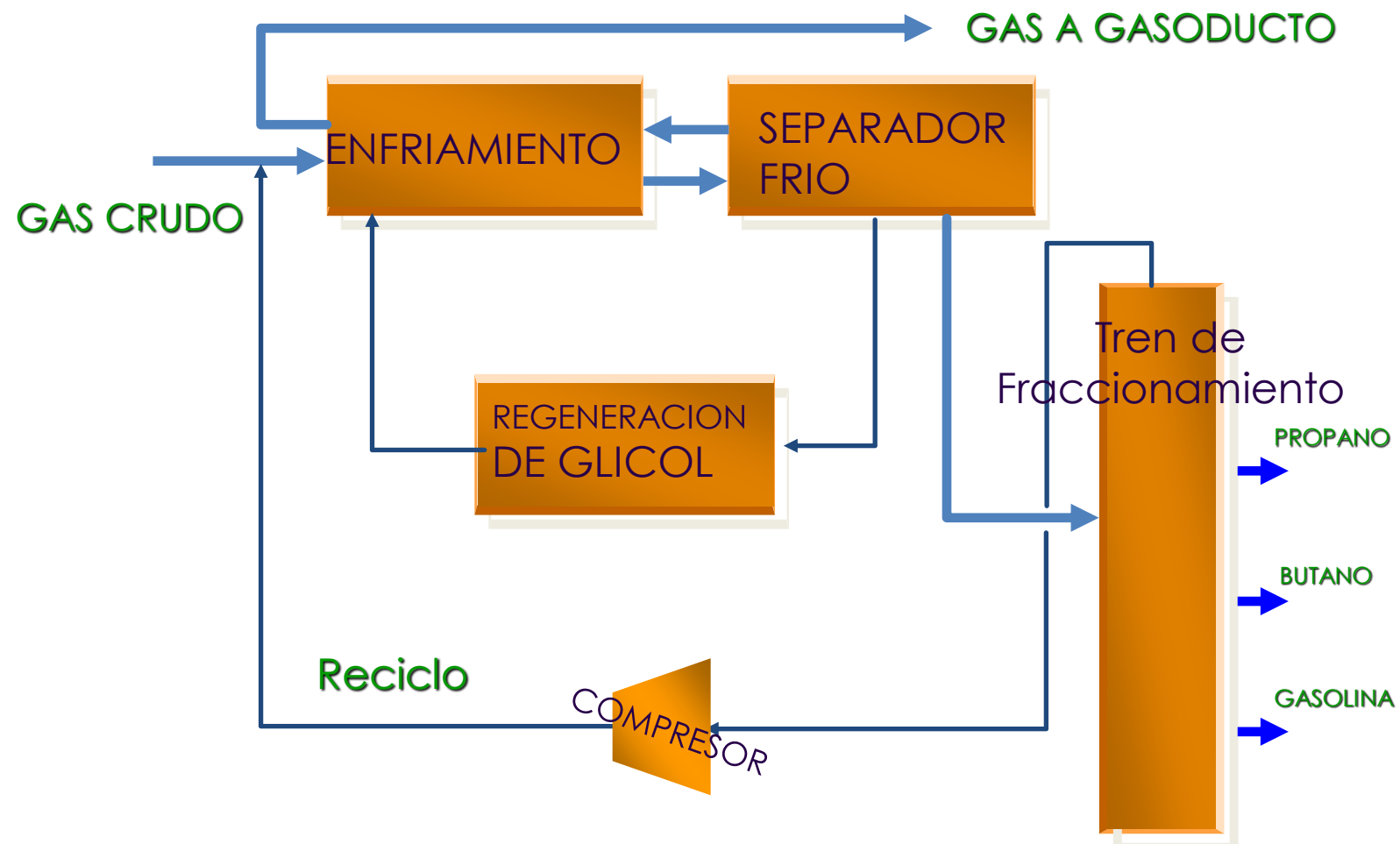
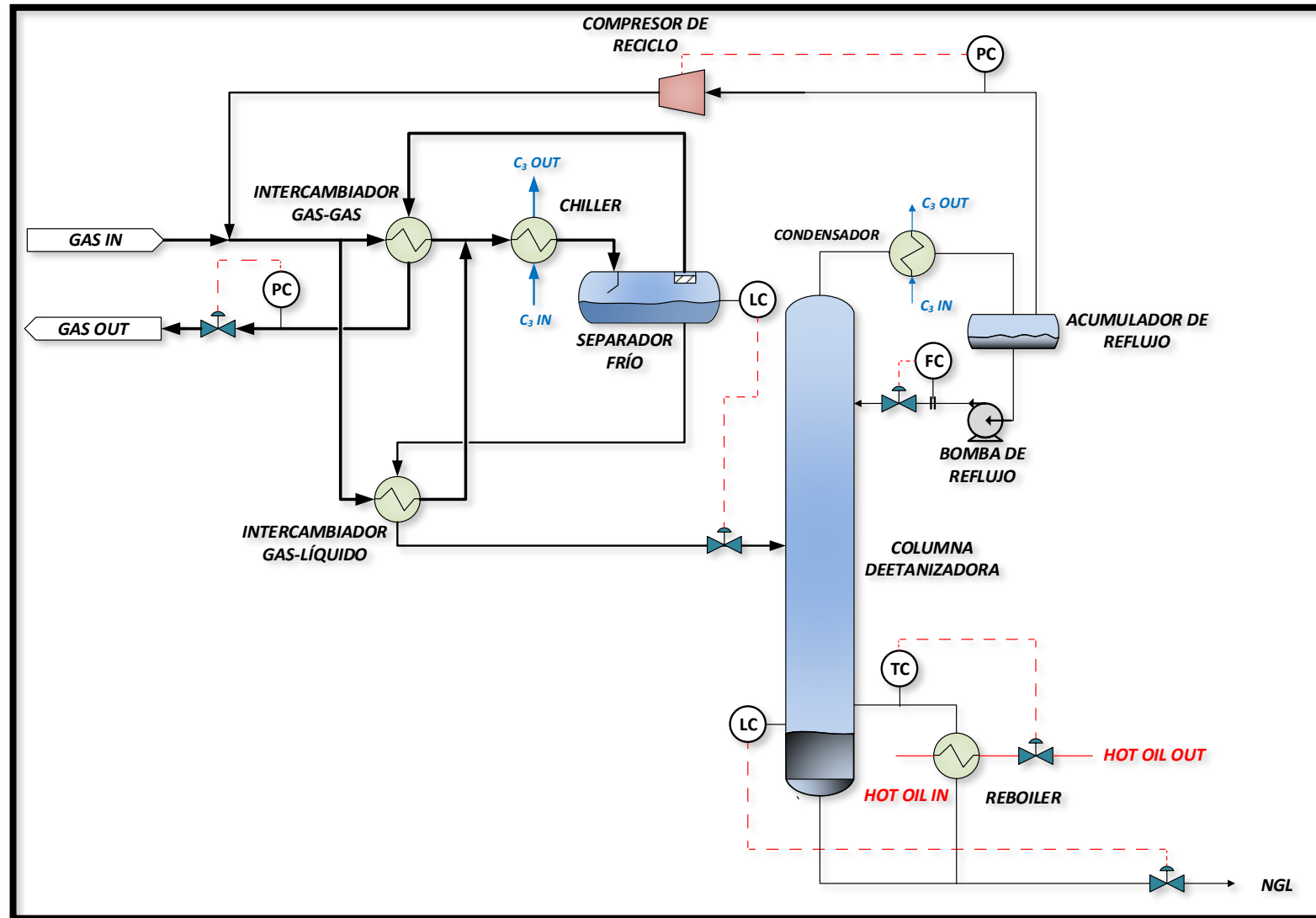


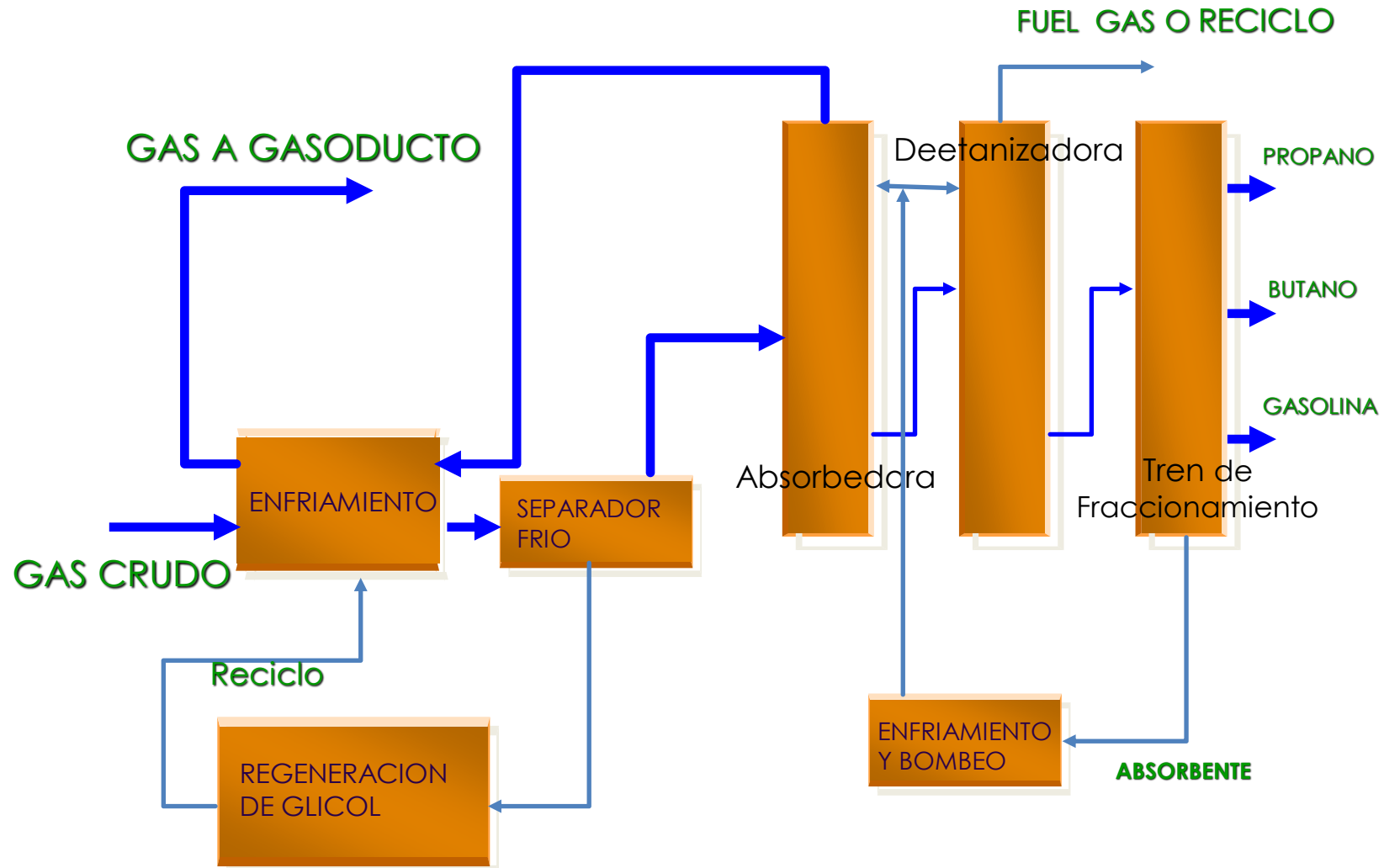
Diagrama de bloques

Planta de Recuperación de LPG por Refrigeración Mecánica

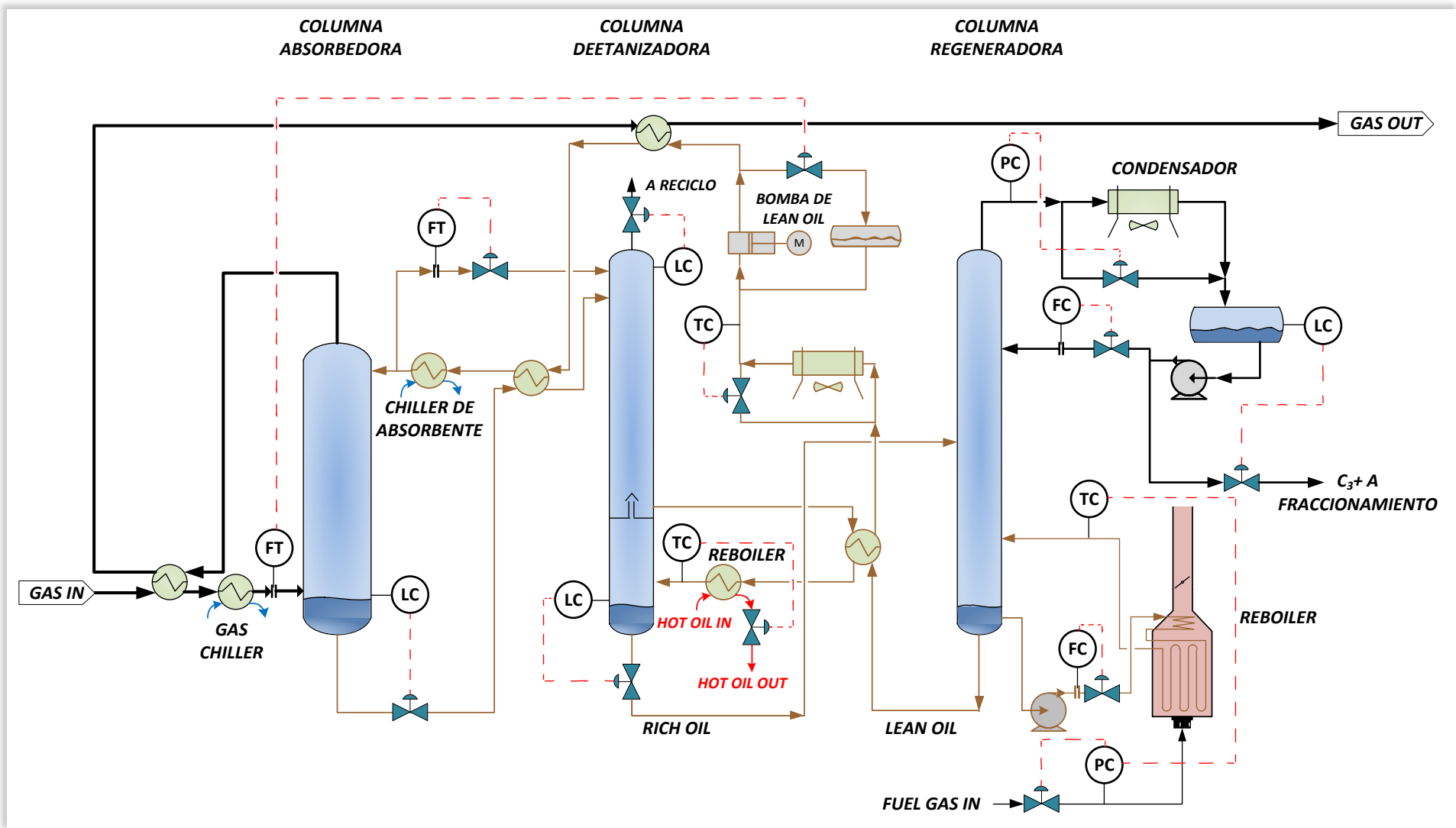


Planta de Recuperación de LPG por Absorción

Diagrama de bloques



Planta de Recuperación de LPG por Absorción





ANEXOS

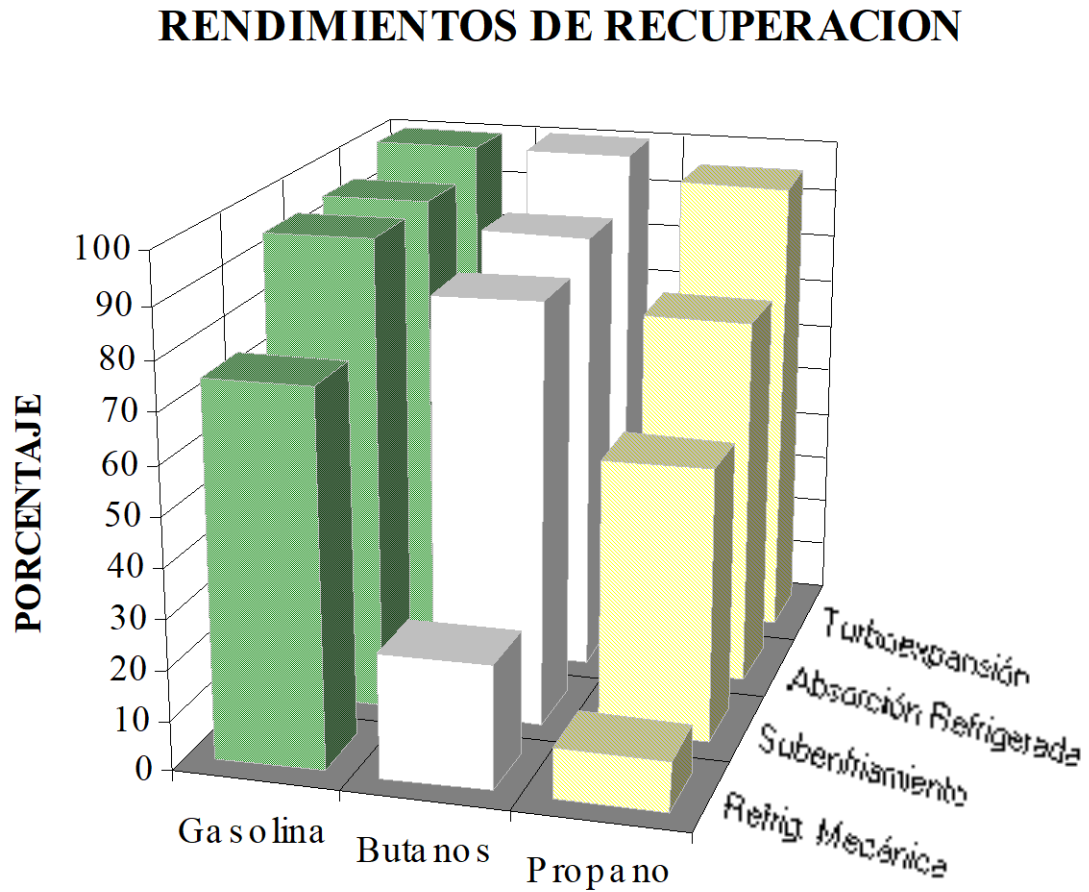
- **Comparación de Rendimientos**
 - **Análisis Económicos**
- 

Plantas de Recuperación de NGL

RENDIMIENTOS CARACTERÍSTICOS (%)

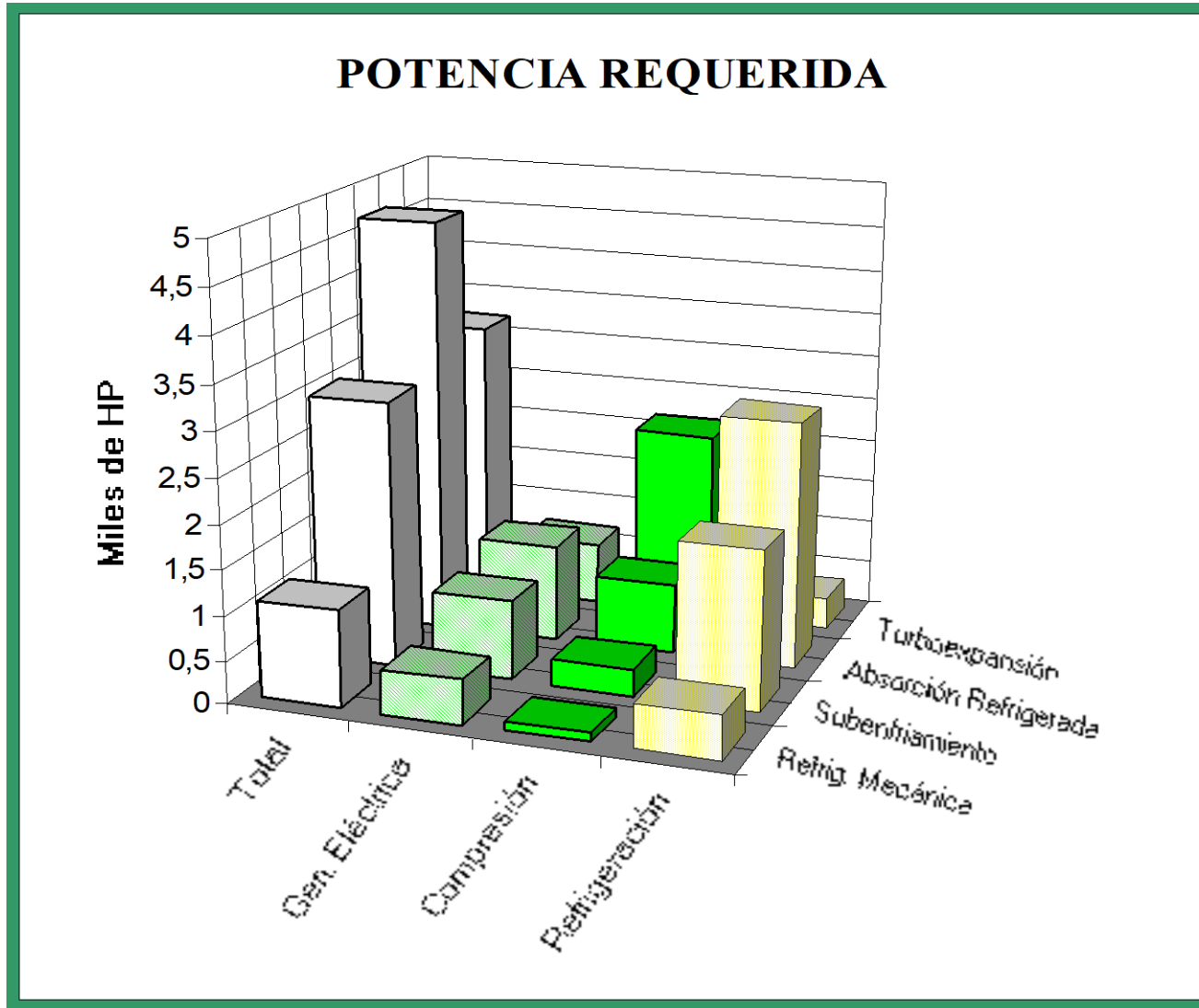
Tipo de Proceso / Producto	Etano	Propano	Butano	Gasolina
Adsorción con Tamices	5	35	65	80
Refrigeración simple (-25°C)	25	55	85	98
Absorción (15°C)	5	40	75	90
Absorción refrigerada (-25°C)	15	75	90	95
Expansión Joule-Thompson (-85°C)	70	90	98	100
Turboexpansión (-90°C)	85	98	100	100

Plantas de Recuperación de NGL



**Análisis de los
rendimientos de
recuperación**

Plantas de Recuperación de NGL



Análisis de las potencias requeridas

ECONOMÍA DE LA RECUPERACIÓN DE LÍQUIDOS

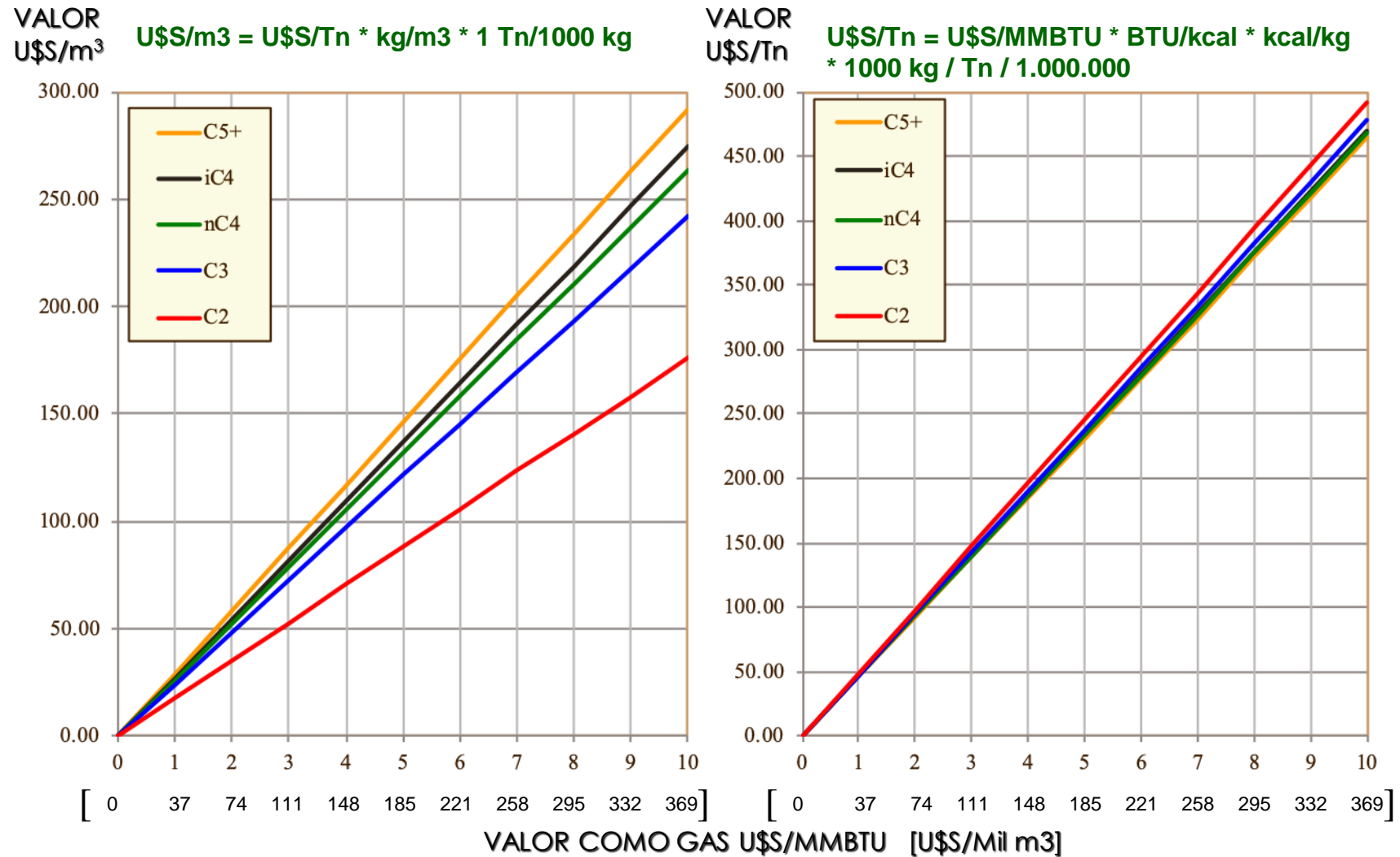
Recuperar del Gas Natural, el etano, el propano y el butano, en estado líquido, tiene como objetivo principal dar mayor valor económico al Gas.

Esto dependerá de los precios relativos de cada uno de esos componentes, si se los vende en la corriente gaseosa o si se los vende líquidos.

Nota: El valor de una corriente de gas se expresa generalmente en **U\$\$/MMBTU**. El valor de dichos componentes vendidos como líquido se expresan generalmente en **U\$\$/ton**.

RECUPERACIÓN DE LÍQUIDOS DEL GAS NATURAL

EQUIVALENCIA VALOR GAS vs. VALOR LIQUIDO



ECONOMÍA DE LA RECUPERACIÓN DE LÍQUIDOS

EJEMPLO:

Calcular cuál es el valor en U\$\$/ton para el Propano, equivalente a un valor de 7,5 U\$\$/MMBTU

Poder Calorífico Superior del Propano: $12018 \text{ kcal/kg} = 47591 \text{ BTU/kg}$

Entonces: $1 \text{ MMBTU} = 1000000 / 47591 \text{ kg} = 21,0 \text{ kg}$

Resultando: $7,5 \text{ U}\$/\text{MMBTU} = 7,5 / 21,0 \text{ U}\$/\text{kg} = \mathbf{357 \text{ U}\$/\text{ton}}$

Análogamente se puede calcular el valor equivalente del Propano para un valor de **2,5 U\$\$/MMBTU**, resultando: **119 U\$\$/ton**

Conclusión:

Si el valor de comercialización de Propano líquido es 300 U\$\$/ton, no es conveniente venderlo como líquido, si el valor del Gas es de 7,5 U\$\$/MMBTU. En cambio sí podría serlo, si el valor del Gas es de 2,5 U\$\$/MMBTU.

En este caso queda un margen de $(300-118) = 182 \text{ U}\$/\text{ton}$.

Habrá que estudiar si este margen cubre la amortización de la planta y los gastos operativos.

RECUPERACIÓN DE LÍQUIDOS DEL GAS NATURAL

ECONOMÍA DE LA RECUPERACIÓN DE LÍQUIDOS

