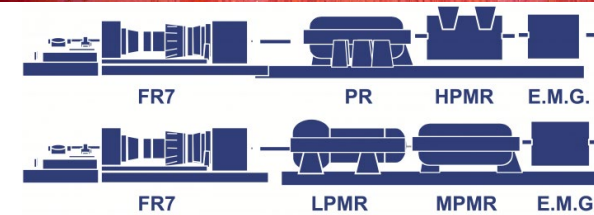
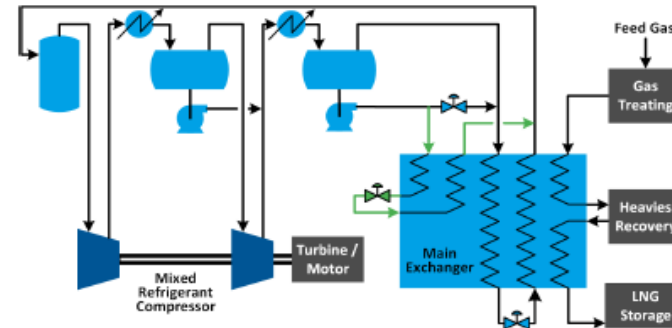
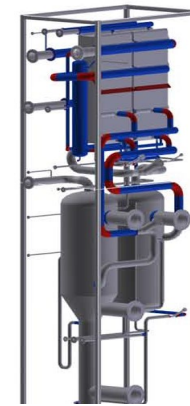
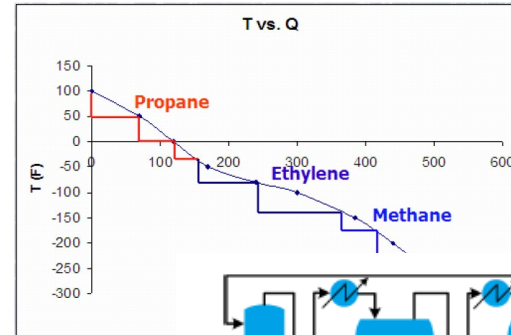




Tecnologías de Licuefacción





Tecnologías de Licuefaccion

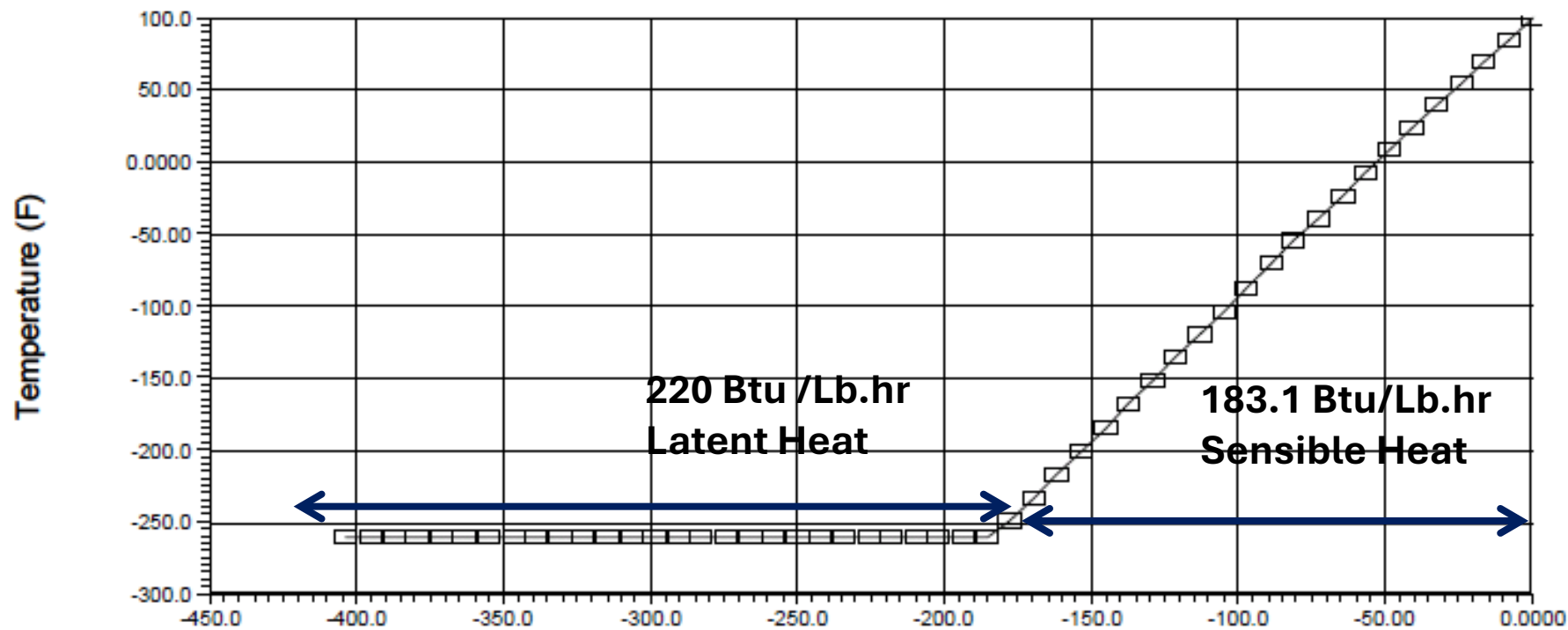
- Fundamentos
- Ciclos de Licuefaccion
- Implementacion de Ciclos de Licuefaccion - Equipamiento
- Aplicacion de ciclos de licuefaccion a unidades flotantes
- Los proyectos de Argentina:
 - Golar Hilli y MkII – B&V PRICO (2.45 + 3.5) MMTPA
 - ArLNG II – Shell – DMR 6 MMTPA
 - ArLNG III – ENI – Chart IPSMR (6 + 6) MMTPA



Fundamentos – Ciclos de Licuefaccion de Gas

Trabajo requerido para licuar gas natural – Eficiencia del Ciclo

Ciclo Teorico utilizando infinitas fuentes refrigerantes @ cada nivel de temperatura

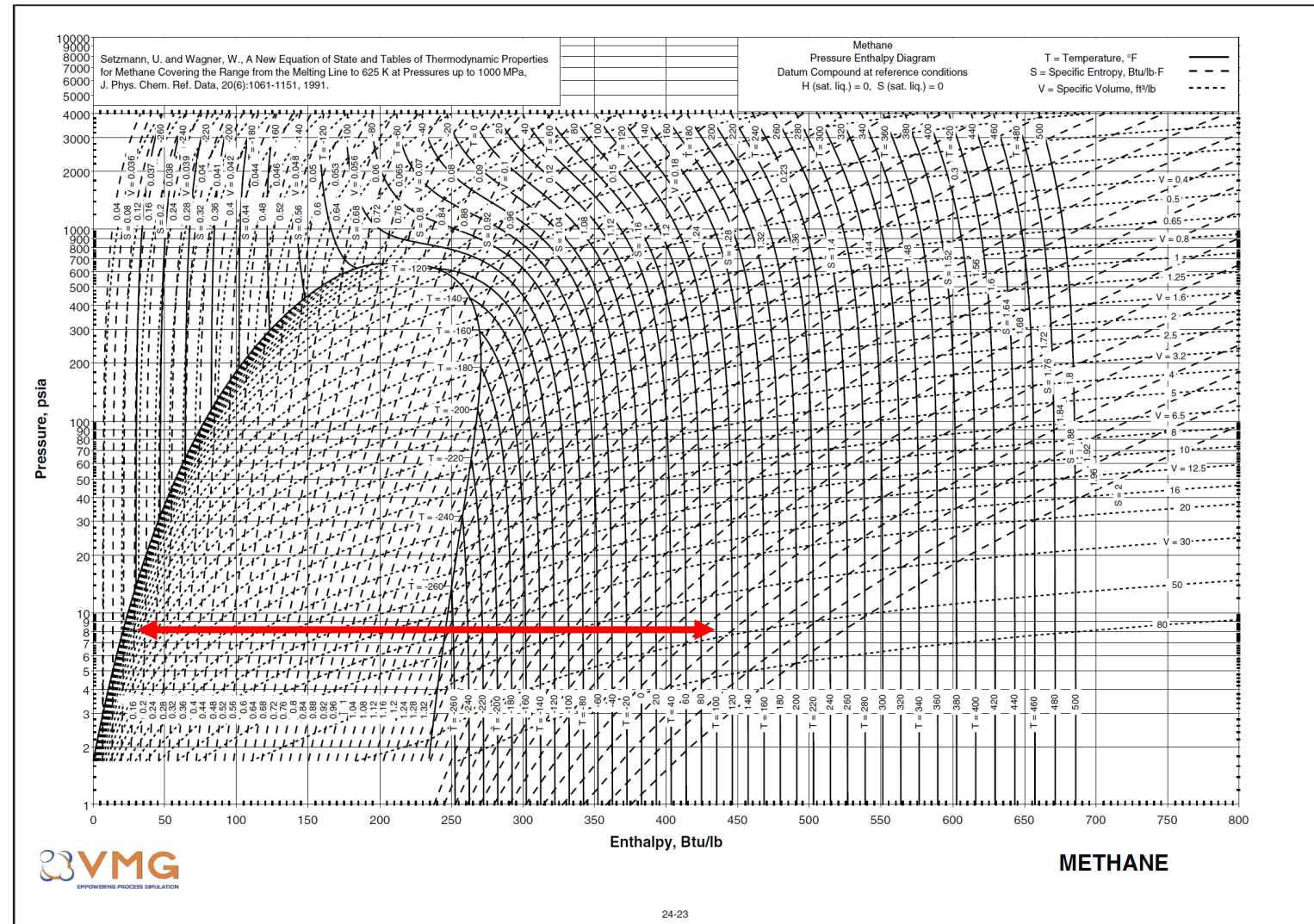


P : 14.7 psia
T : 100° F
1 Lb of Methane

Total : 403.1 Btu/Lb.hr
260 kWh/ton



Fundamentos – Ciclos de Licuefaccion de Gas

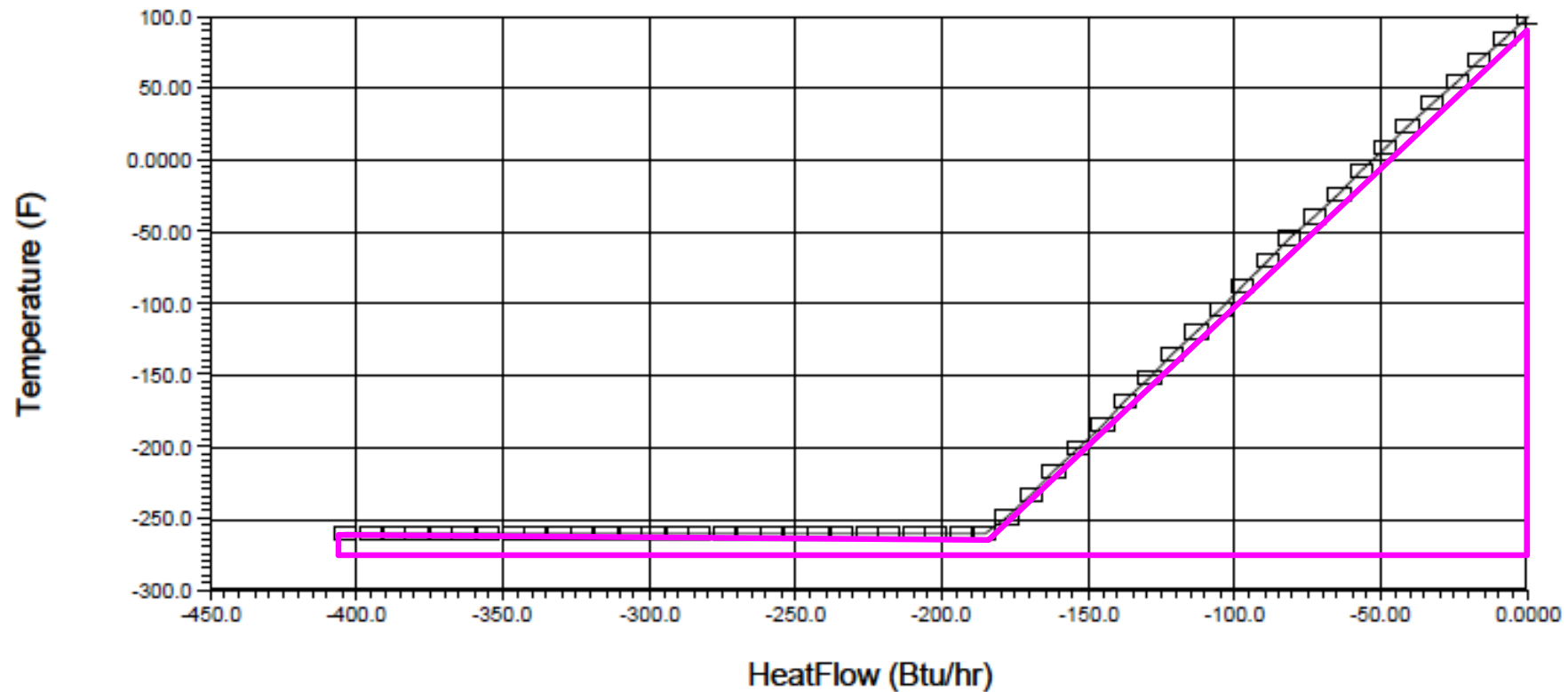




Fundamentos – Ciclos de Licuefaccion de Gas

Ciclo teorico utilizando refrigeracion a -260°F

Aproximadamente 3 veces mas que el requerimiento teorico

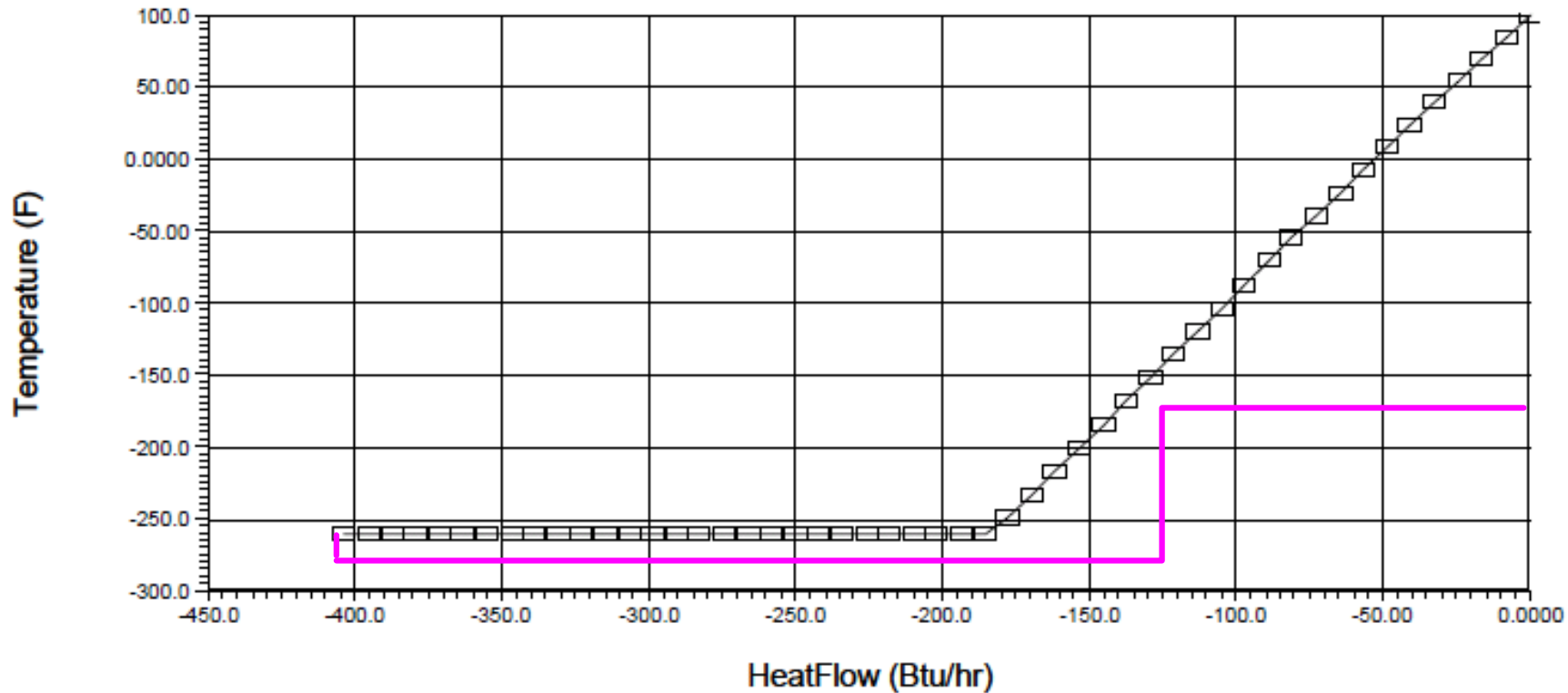




Fundamentos – Ciclos de Licuefaccion de Gas

Ciclo teorico utilizando dos niveles termicos de refrigeracion, uno a -260°F y otro a -175°F

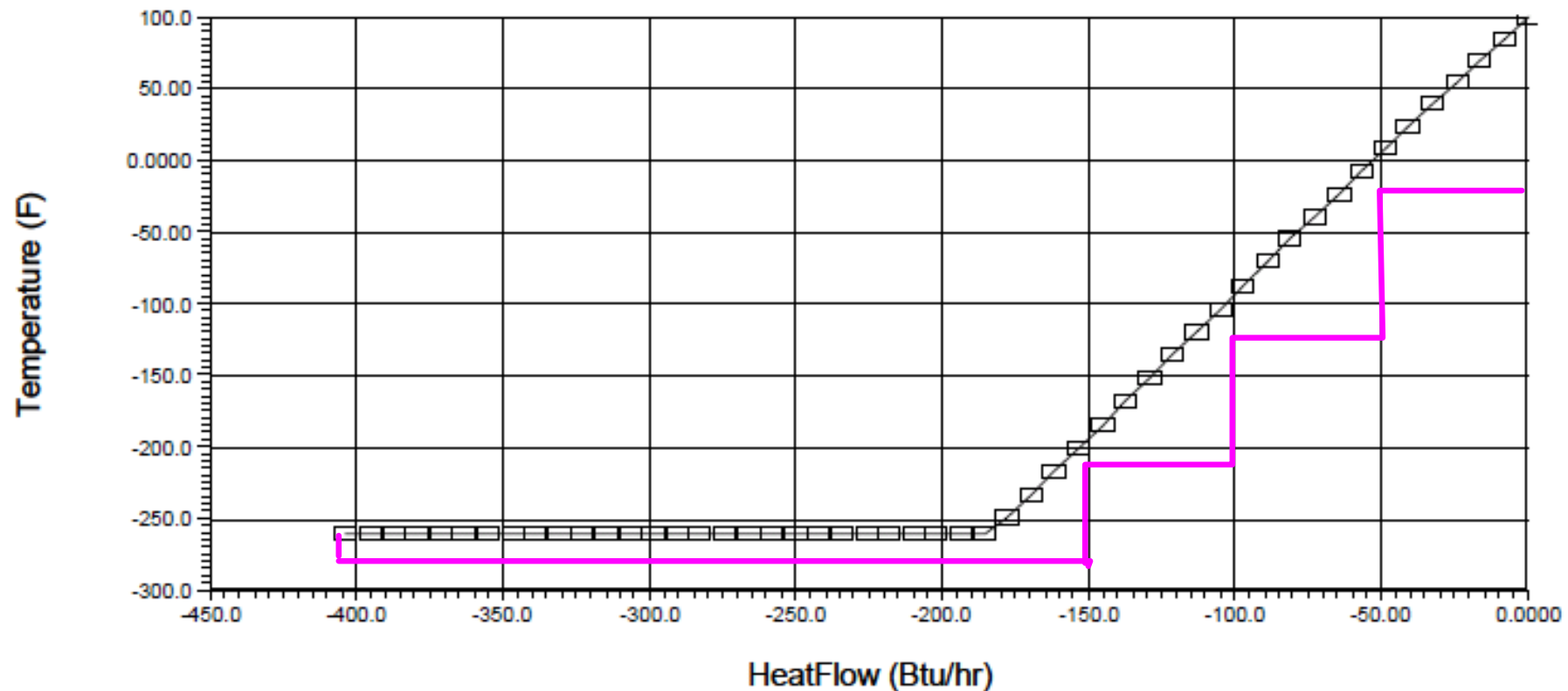
Aproximadamente 2 veces mas que el teorico





Fundamentos – Ciclos de Licuefaccion de Gas

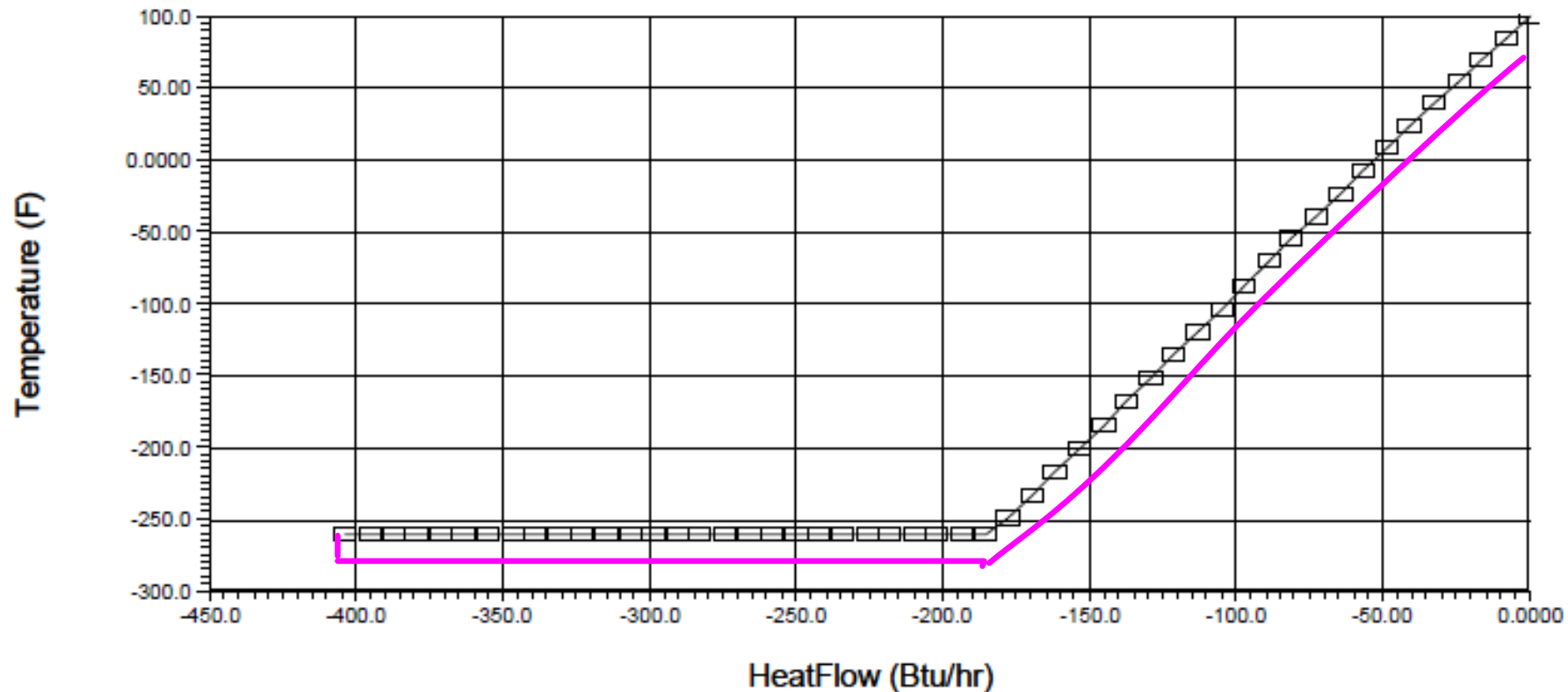
Ciclo teorico utilizando niveles de refrigeracion de -260°F, -210°F, -125°F y -25°F
Aproximadamente 1.4 veces el valor teorico
Este es el concepto de la Refrigeracion en Cascada





Fundamentos – Ciclos de Licuefaccion de Gas

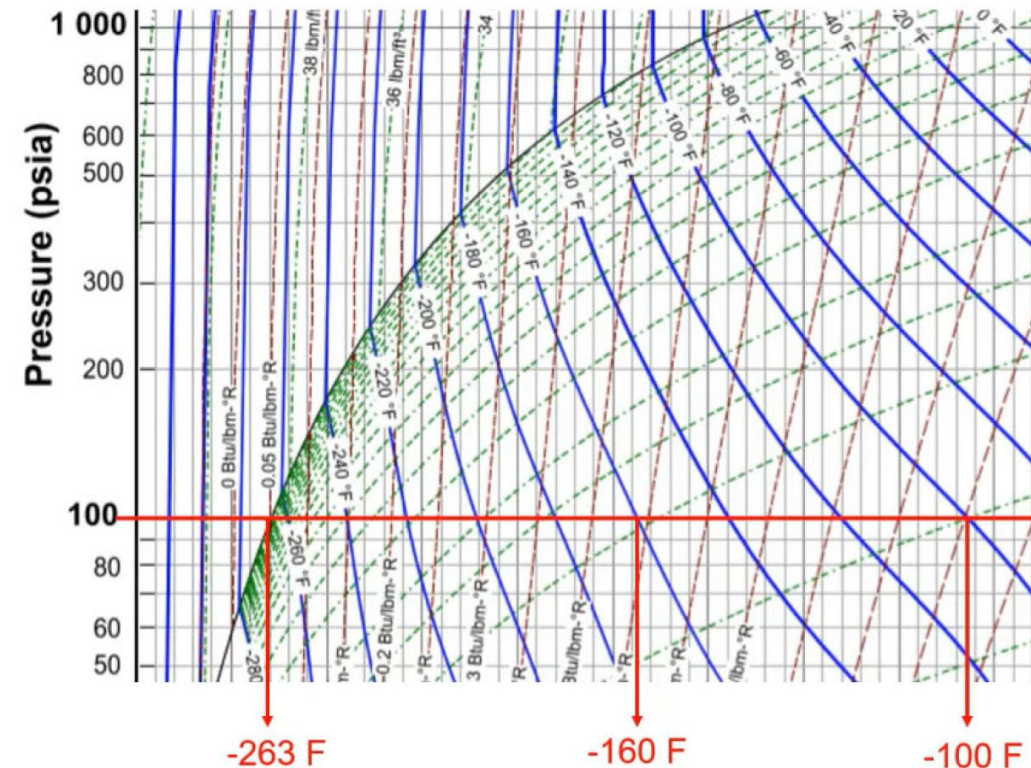
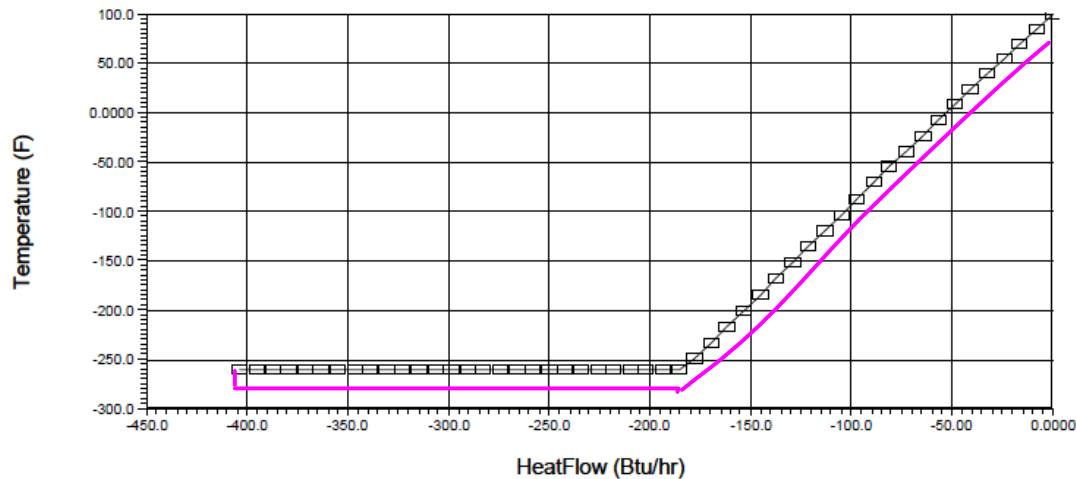
*Curvas de Refrigeracion tan proximas como sea posible a las Curvas de Enfriamiento
Usando un refrigerante que evapora acompañando la curva de refrigeracion
Este es el concepto del Ciclo de Refrigerante Mixto*





Fundamentos – Ciclos de Licuefaccion de Gas

*Curvas de Refrigeracion tan proximas como sea posible a las Curvas de Enfriamiento
Usando un refrigerante que evapora acompañando la curva de refrigeracion
Este es el concepto del Ciclo de Refrigerante Mixto*





Pasando al mundo real

- **En los diseños industriales:**

- El gas a licuar es una mezcla de gases
- El gas está a presión, normalmente entre 500 psig y 900 psig
- Esto reduce el nivel de energía requerido para licuar el gas
- También influye en la forma de las curvas de enfriamiento y, por lo tanto, en los requisitos de refrigeración

- **Eficiencia térmica**

- Termodinámica
- Approach de temperatura en Intercambiador Criogenico
- Intercambiador Criogénico - Superficie
- Eficiencia del compresor
- Tasa de Combustion de Turbinas de Gas
- Eficiencia del ciclo=

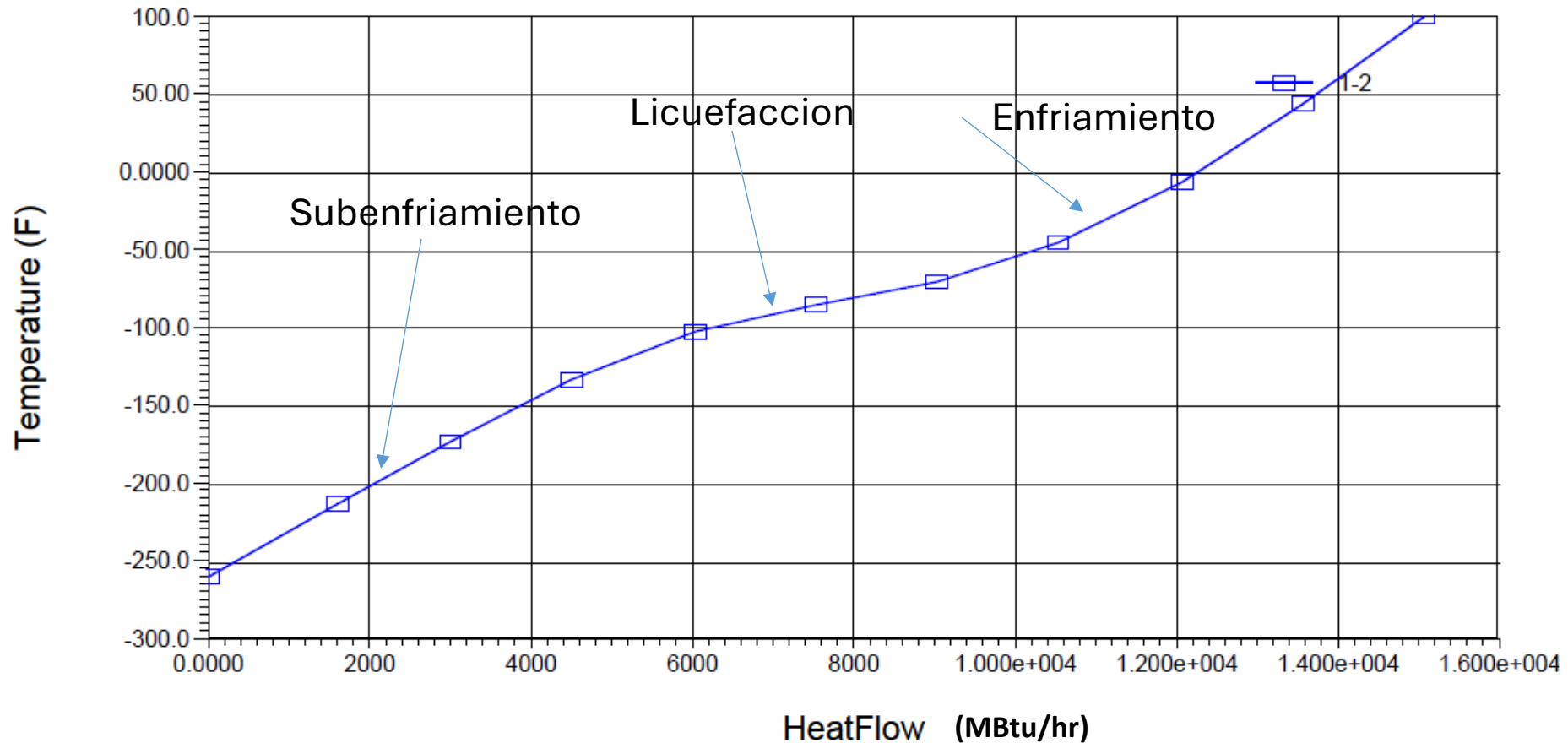
$$\frac{\text{ENERGIA ENTRANTE}}{\text{ENERGIA SALIENTE}}$$

$$\frac{\text{ENERGIA CONSUMIDA}}{\text{TONELADA LNG}}$$



Requerimientos de Refrigeracion

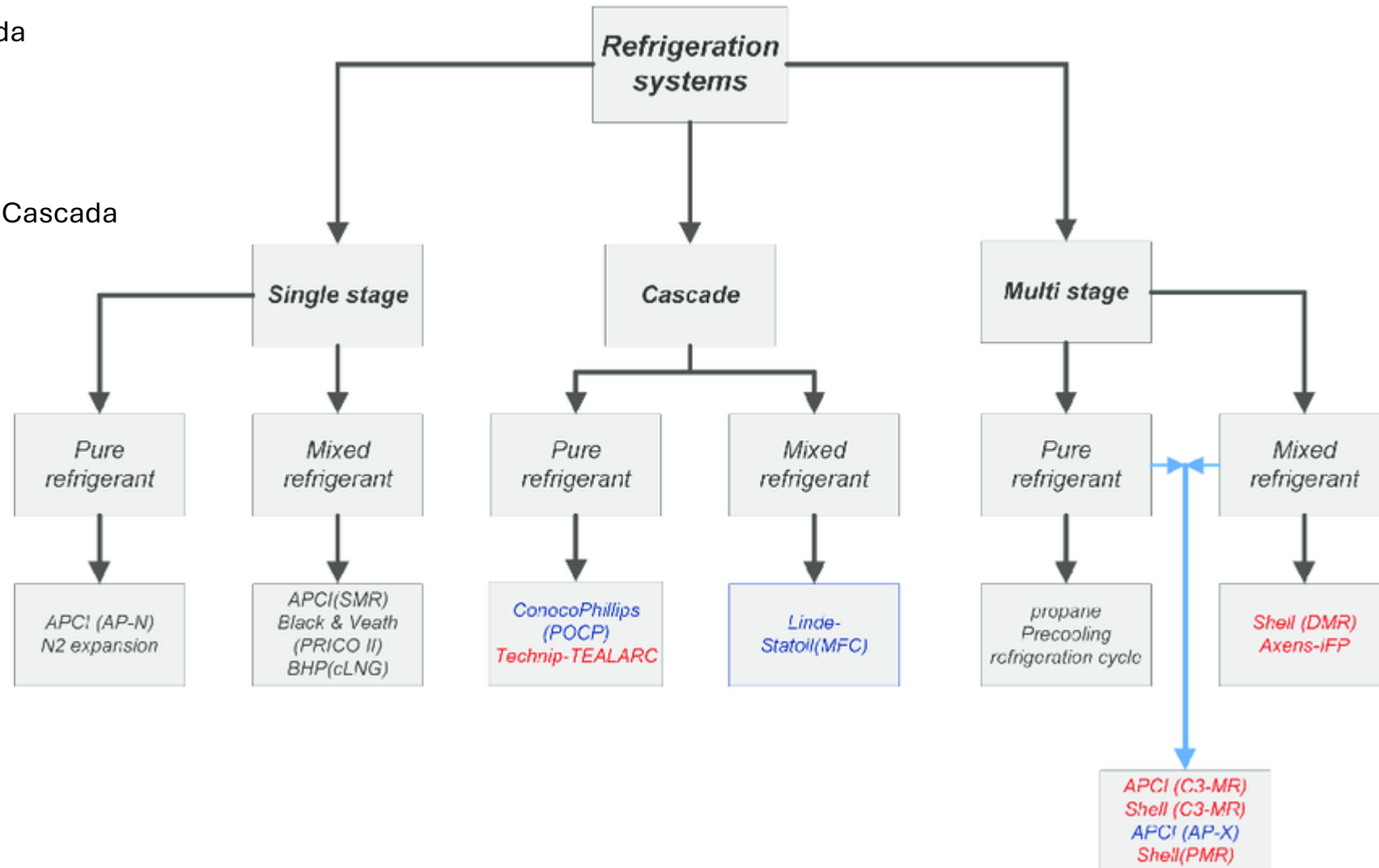
Curva Tipica de Enfriamiento para un Gas a Alta Presion





Clasificación de los Procesos de Licuefacción

- Refrigeración en Cascada
- Refrigerantes Mixtos
 - Variaciones
- Refrigerantes Mixtos en Cascada
- Turboexpansion



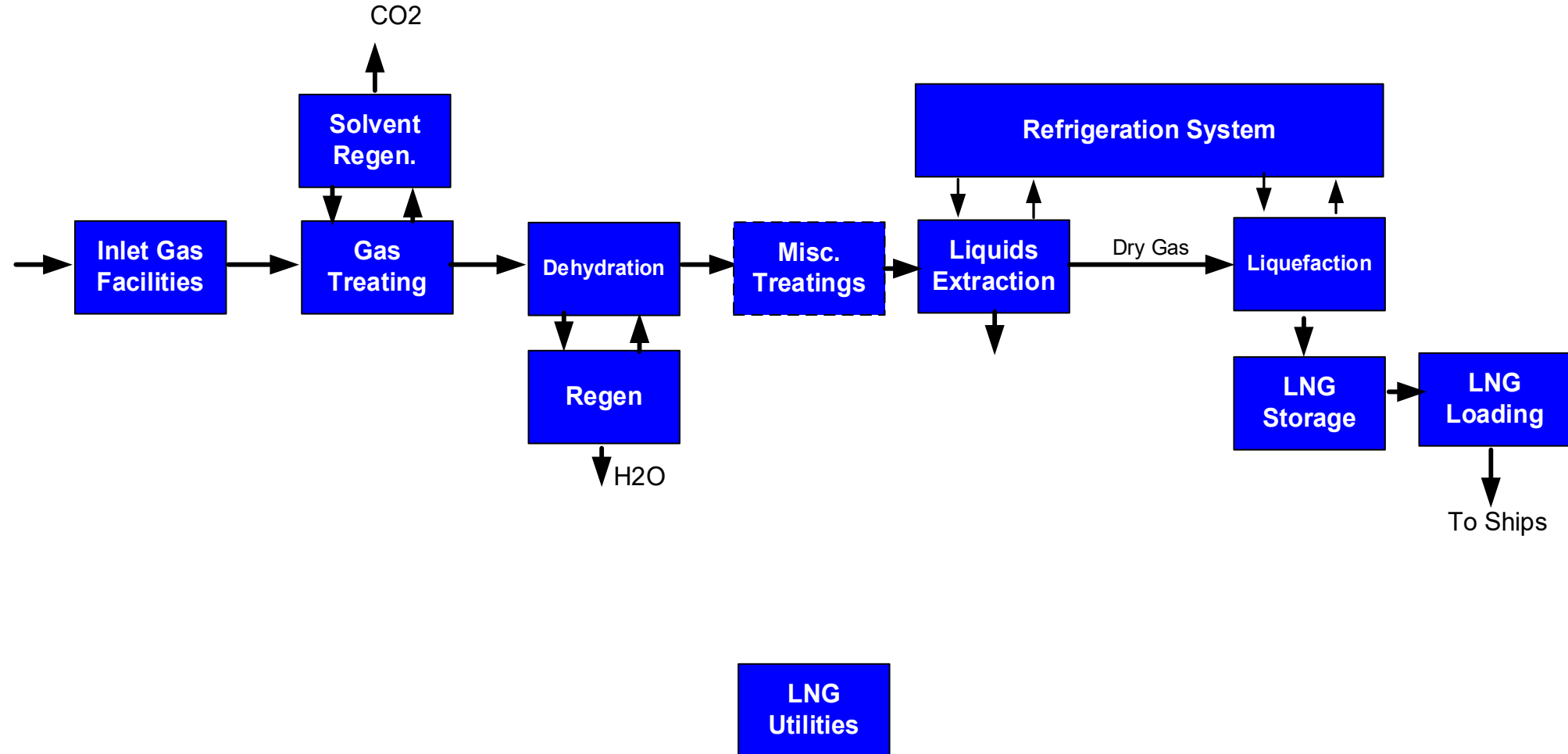


Eficiencia de los Ciclos de Licuefaccion

- | | | |
|--|--------------------|-------------|
| ○ ConocoPhillips Optimized Cascaded Refrigeration: | 280 – 323.7 | kWh/ton LNG |
| ○ Chart IPSMR: | 304.8 | kWh/ton LNG |
| ○ B&V – PRICO: | 304.8 | kWh/ton LNG |
| ○ Air Products Pre-Cooled: | 275 – 375 | kWh/ton LNG |



Process – Block Flow Diagram





Cascade Refrigeration Process

ConocoPhillips Process



Key components of the Optimized Cascade process in use at Darwin LNG

Precooled Mixed Refrigerant

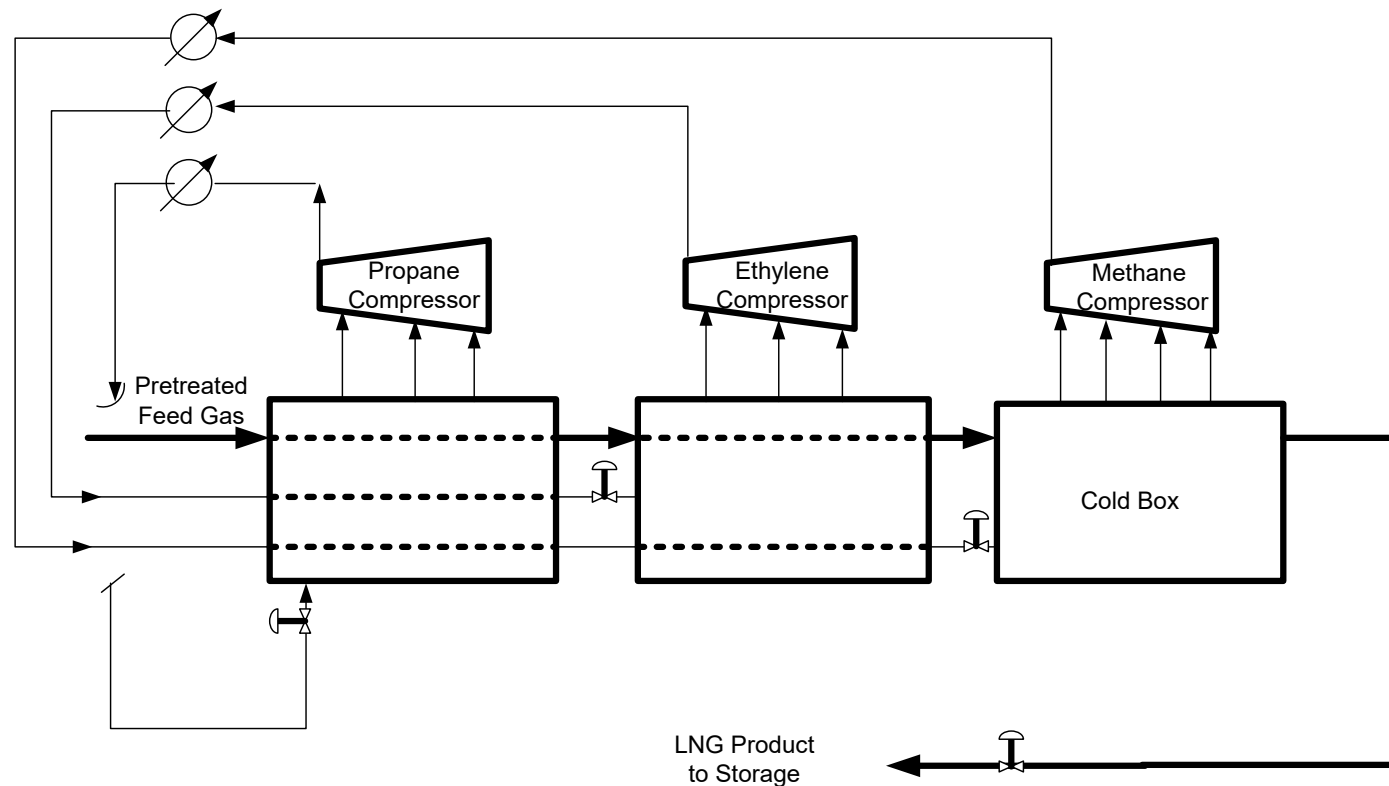
Air Products





Refrigeracion en Cascada

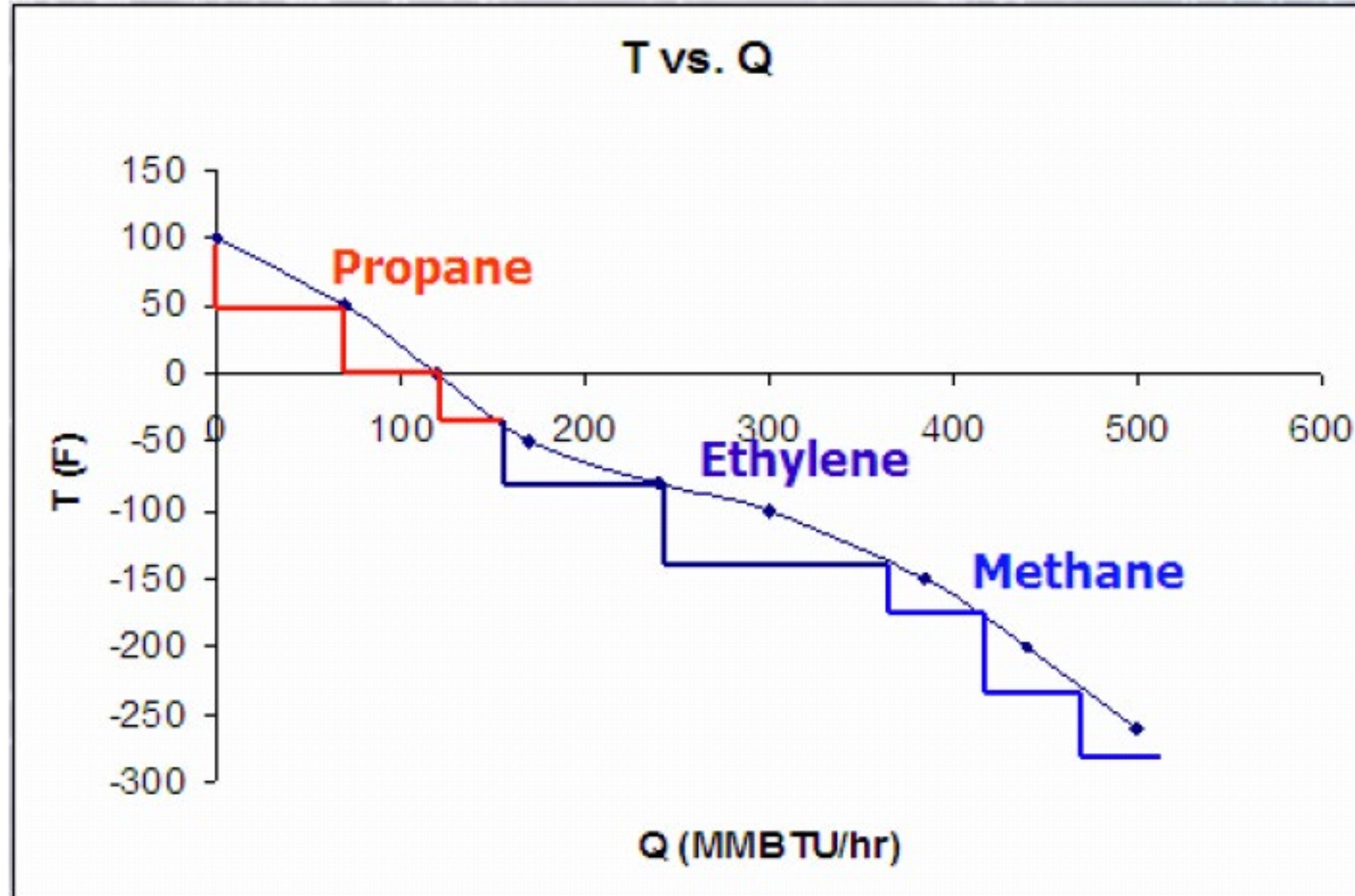
Proceso ConocoPhillips





Refrigeración en Cascada

Proceso ConocoPhillips

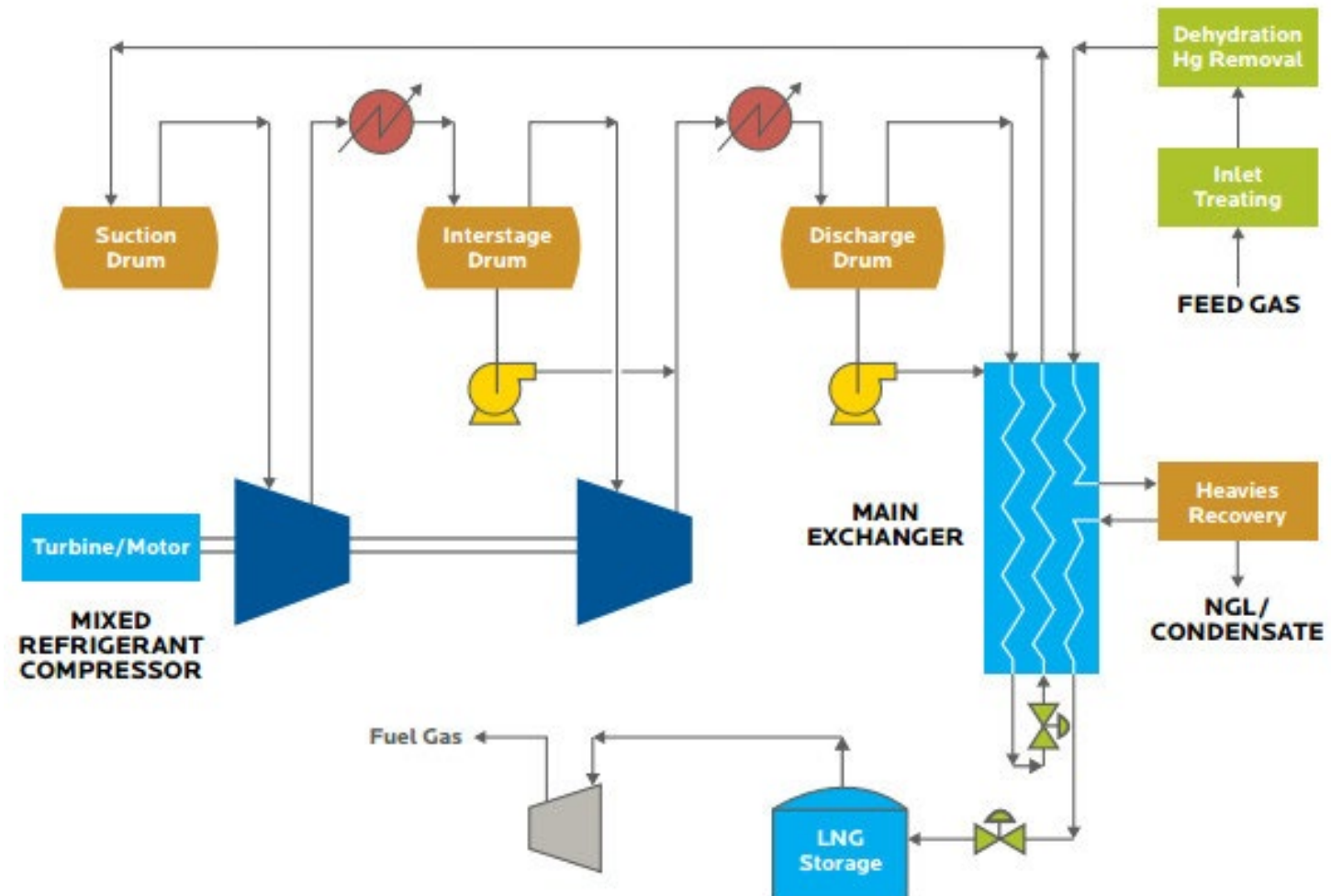




Ciclo de Refrigerante Mixto – Black & Veatch - PRICO

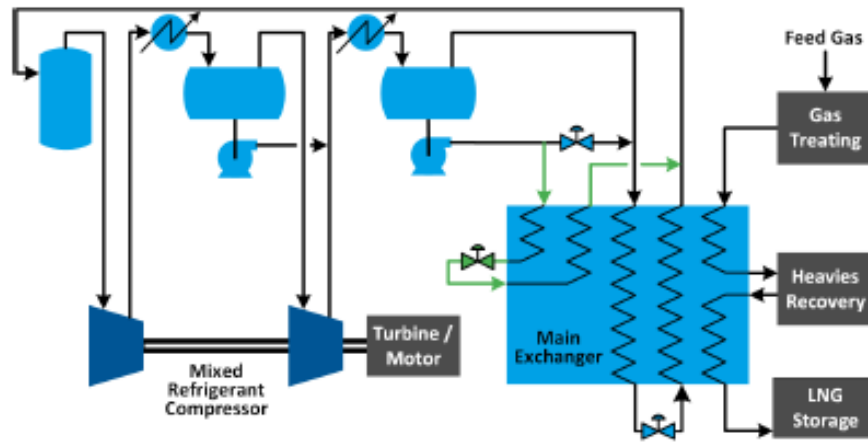
Componentes Típicos

- Nitrogeno
- Metano
- Etileno-Etano
- Propileno-Propano
- IsoButano
- IsoPentano





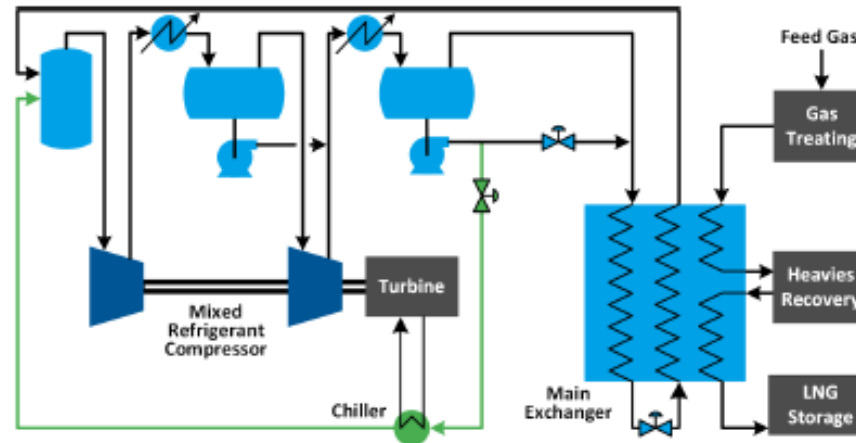
Ciclo de Refrigerante Mixto – Black & Veatch – PRICO - Variaciones



PRICO Plus
U.S. Patent 9,574,822

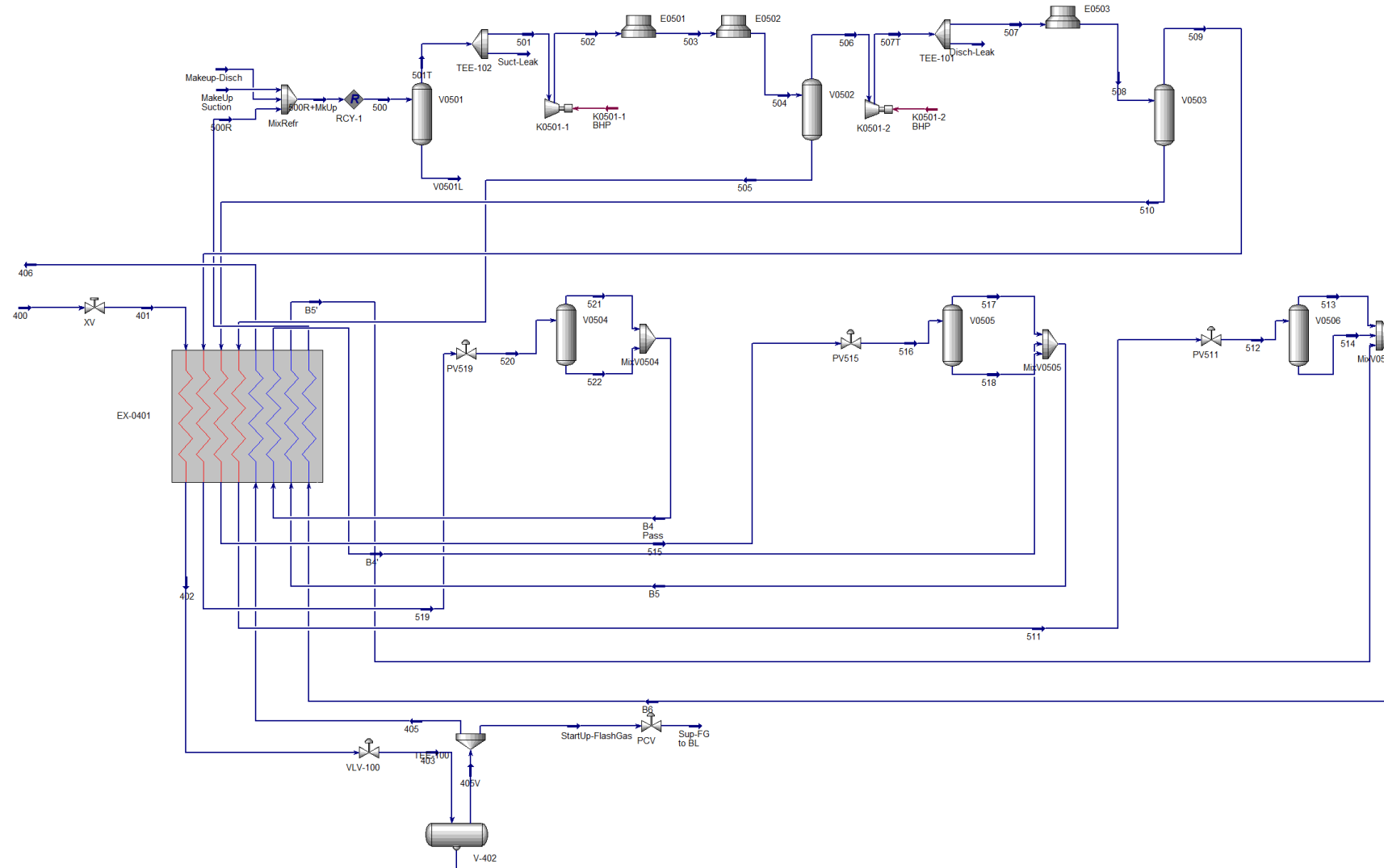


PRICO Boost
U.S. Patent 10,443,927



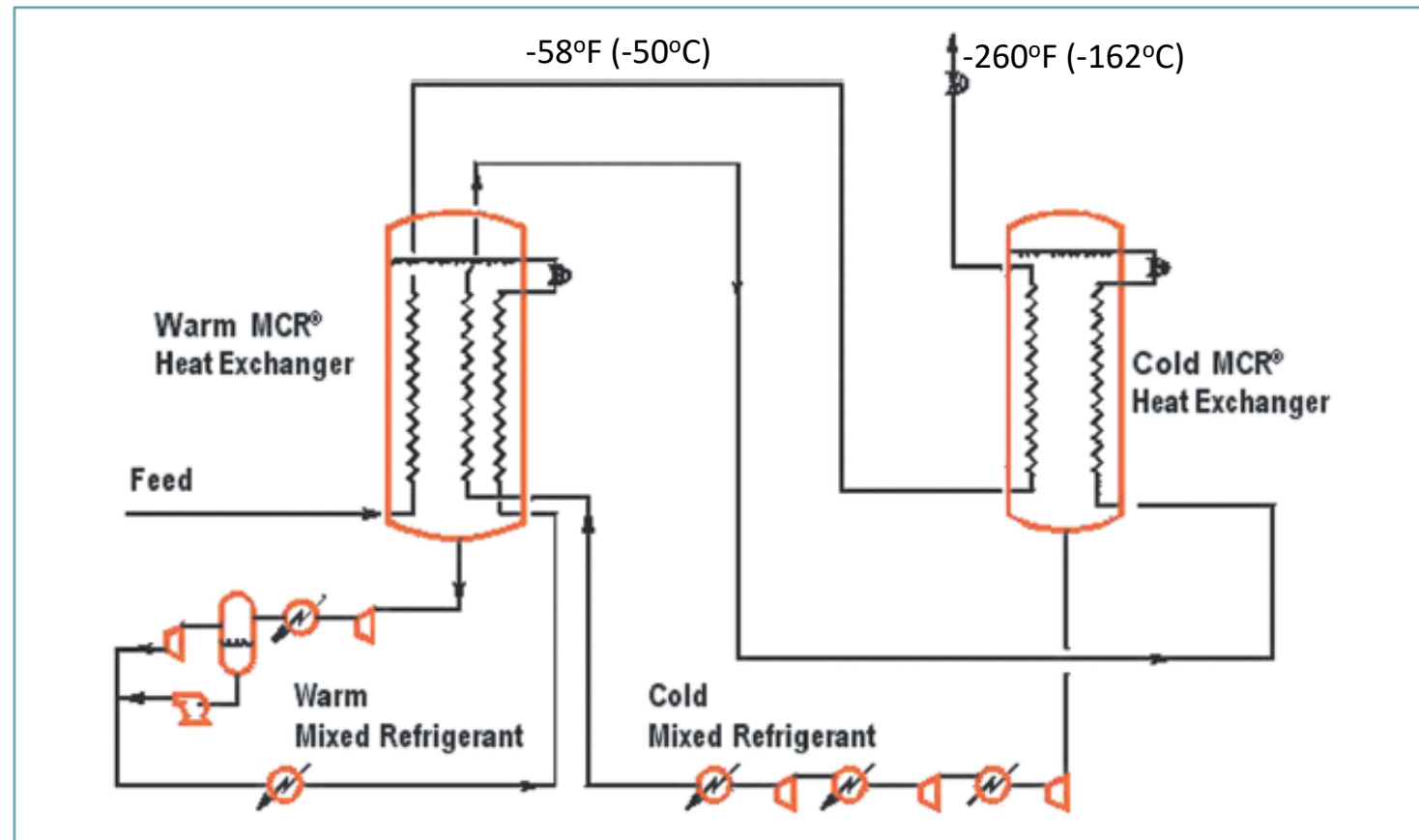


Ciclo de Refrigerante Mixto – Chart IPSMR



Ciclo Dual Mixed Refrigerant (DMR) ***Varios Tecnologos (Air Products- Shell)***

- Shell (simple & multiple)
 - Air Products
 - Technip
-
- El primer refrigerante es una mezcla 50/50 de Etano/Propano.
 - El segundo refrigerante es una mezcla de Propano, Metano y Nitrogeno





Equipamiento en Ciclos de Licuefaccion

☐ Equipamiento Principal en Ciclos de Licuefaccion

- Equipos de Intercambio de Calor – Cold Boxes – Intercambiadores Spiral Wound
- Compresores y Accionadores – Electricos y Turbinas a Gas
- Turboexpansores
- Bombas Criogenicas



Consideraciones Técnicas

☐ Tipo de Equipo

- Tipo y Superficie del Intercambiador Criogenico
- Turbinas a Gas o Motor Electrico
- Aire vs. Agua de Enfriamiento
- Tanque de Almacenaje de Contencion Simple o Total (API 625)

☐ Configuracion de Equipos

- Arreglo de Compresor y Accionadores
- Arreglo de Intercambiadores Criogenicos (todos BAHX, BAHX+SWHE, todos SWHE)
- Conteo Total de Equipos

☐ Confiabilidad y disponibilidad de la planta

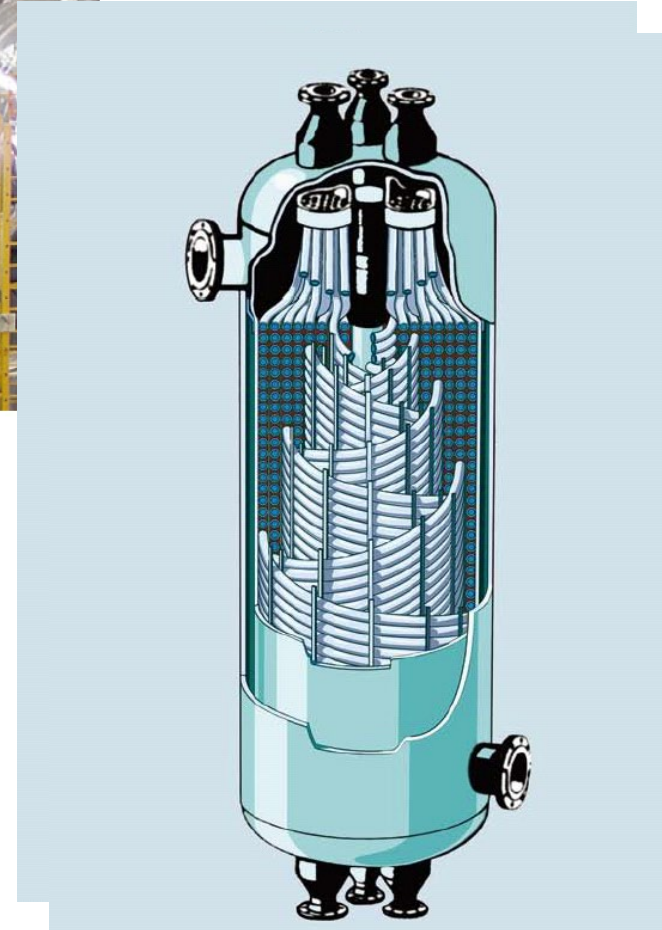
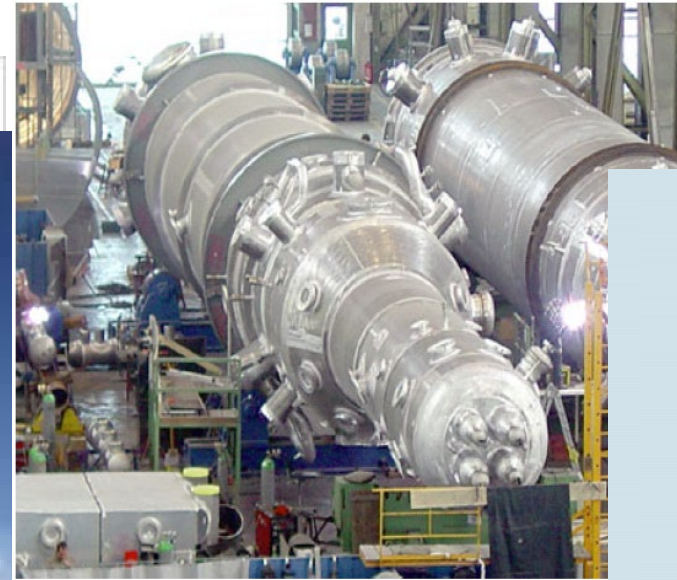
☐ Facilidad de puesta en marcha, operación y mantenimiento



Intercambiador Espiralado



Courtesy of Linde



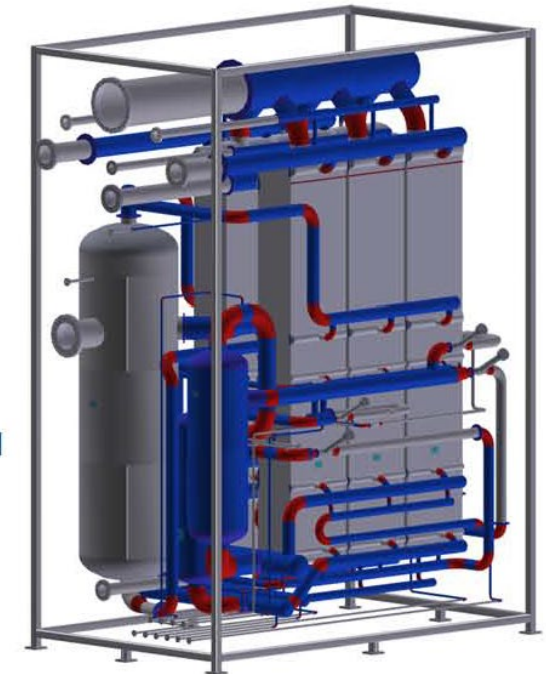


Intercambiadores de Calor – Cold Boxes

- ❑ Razones Principales para usar Cold Boxes
 - Aislamiento rentable de sistemas complejos
 - Soporte estructural del equipo
- ❑ Factores que impulsan el uso de cajas frías
 - Proceso muy complejo
 - Costo de Mano de Obra – Obra vs. Taller
 - Productividad – Obra vs. Taller



**Typical Heavy
Hydrocarbon
Removal Cold Box**
2 MTPA
Length – 7.3 m
Width – 10.5 m
Height – 28 m
Weight – 399 t



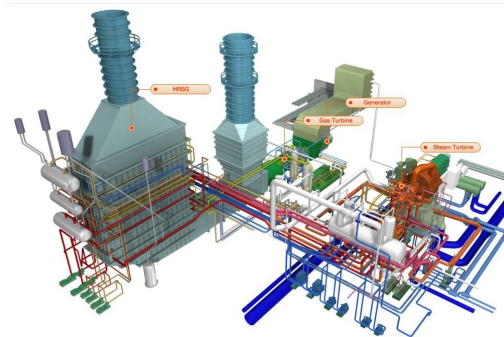
**Typical IPSMR®
Liquefaction Cold
Box**
2 MTPA
Length – 10.2 m
Width – 17.1 m
Height – 18 m
Weight – 561 t

Courtesy of Chart Industries

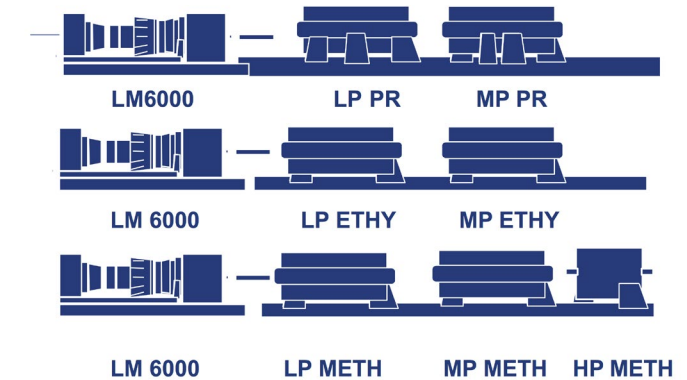


Configuraciones de Turbomaquinas

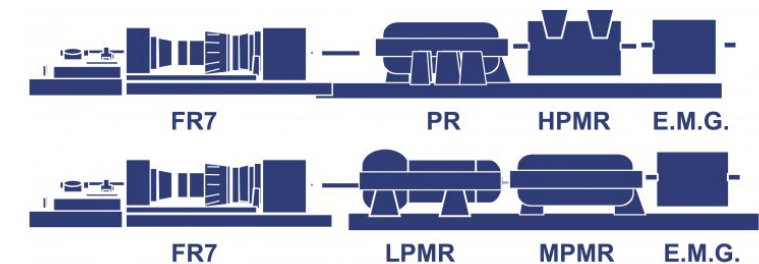
- ❑ Factores que influyen en la selección de Accionadores de Compresores:
 - Capacidad de Planta
 - Proceso Utilizado – Elección y Número de Corrientes de Refrigerantes
 - Configuración del Compresor
 - Ubicación de la Planta – Condiciones Ambientales
 - Disponibilidad de la Planta
 - Flexibilidad Operativa
 - Factores Económicos – CAPEX & OPEX



Typical Turbine Selection Options Optimized Cascade Refrigeration



Typical Turbine Selection Options Mixed Refrigerant Cycles





Porque un FLNG?

- Tecnicamente factible
- Integración de Conceptos Probados
- Modularización
- Permanencia de + 20 años en sitio
- Alternativa económica rentable
- Infraestructura terrestre mínima
- Elimina puertos/embarcaderos
- Elimina obra de Almacenaje
- Elimina Riesgo Sindicatos de Construcción

The Shell Prelude FLNG – 3.5 MMTPA



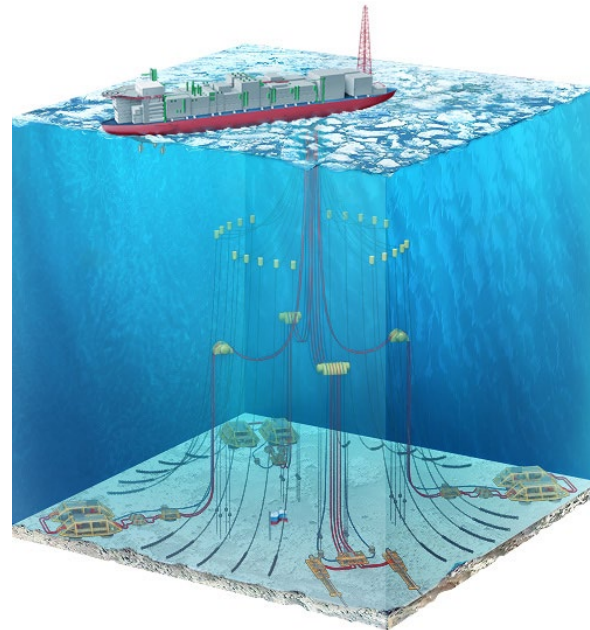
Courtesy of Shell



Desafíos de la Marinización del Diseño de LNG

Ambiente

- Bajas Profundidades
- Profundidad Media
- Alta profundidad
- Condiciones Metoceanicas
- Desarrollo Submarino
 - Equipamiento Submarino
 - Sistemas de Produccion
 - Umbilicales, Flowlines y Risers
- Sistema de Amarre
- Flow Assurance
- Inestabilidades de Flujo – Respuesta a variaciones del upstream para proteger el proceso de licuefaccion
- Topsides (70-80% del peso es equipamiento previo a la licuefaccion)

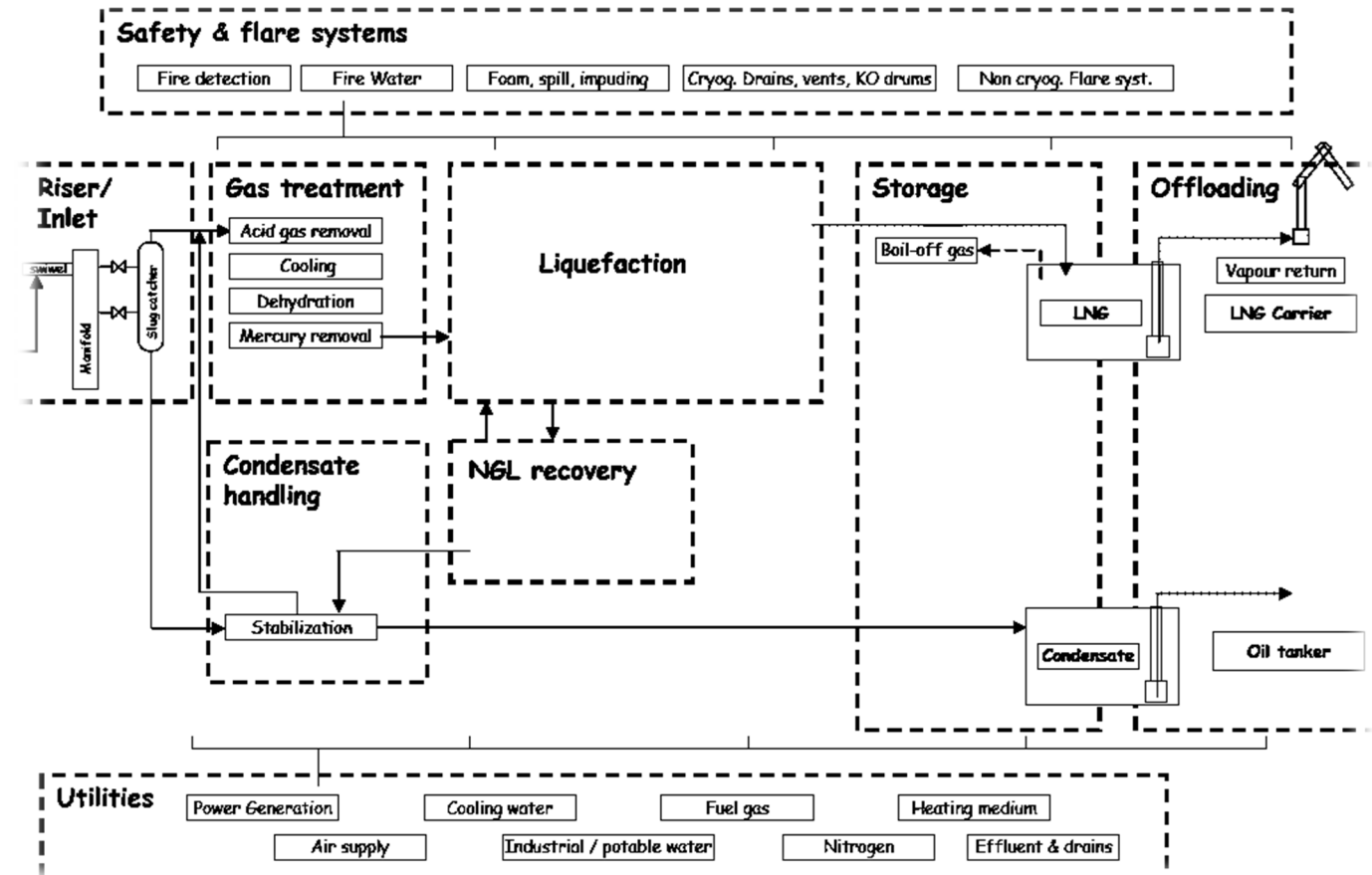


- Conversion o Nuevo Diseño?
- Layout Compacto
- Modulos Extrapesados
- Espacio Vertical
- Altas Aceleraciones laterales
- Reacciones Concentradas
- Sistema Marino de Fuerzas
- Puntos de elevacion de Modulos
- Dique Seco
- Deflecciones del Casco –Soportes
- Parrales de Cañerías



Problemas de Integración

- Instalación de una facilidad operativa en un buque
 - Definición de Topsides
 - Comprensión del entorno Marino Dinámico
 - Estados Marinos (SeaStates) – Efecto del Movimiento Impacto en Equipos Pesados
 - Especificación del Casco - Amarre
- Tecnología de Almacenaje de Producto
- Descarga de Producto
- Clasificación Naval
- Evaluación Conceptual de Seguridad





SeaStates – Efectos del Movimiento

Las limitaciones metoceanicas están fijadas por las maniobras seguras de los buques, las operaciones seguras de los remolcadores y los límites seguros del sistema de transferencia de LNG.

■ Olas

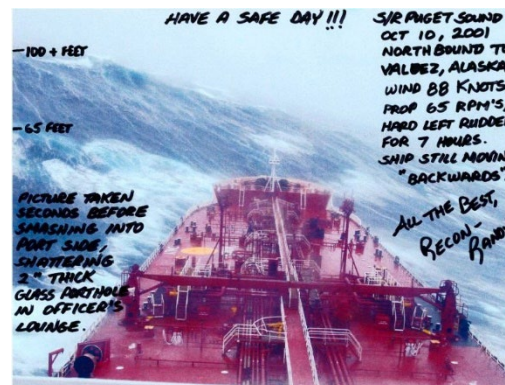
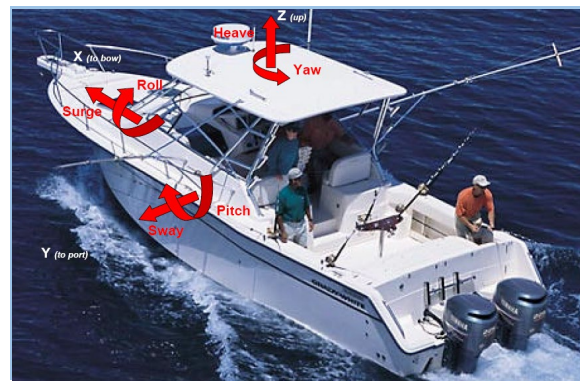
- La altura de ola significativa operativa de las olas generalmente se limita a 2.0 a 2,5 mts
- El período de onda significativa de la onda operativa generalmente se limita a menos de 10 a 12 segundos

■ Viento

- Las velocidades del viento de operación generalmente se limitan a 20 nudos para atraque y 30 nudos para transferencia de GNL

■ Corrientes

- Las corrientes operativas suelen estar limitadas a 1 nudo



■ Intercambiadores de calor criogénicos

- La mala distribución de fluidos debido al movimiento de las olas disminuye el rendimiento

■ Columnas

- Puede ocurrir oleaje y chorros de vapor
- No se recomiendan internos de tipo convencional
- La solución es utilizar platos de múltiples downcomers o relleno

■ Sistema de Offloading

- Side by side

■ Tanques

- Deben de considerarse fuerzas y efectos de oleaje

■ Sistema de Antorcha

- Requiere cuidadosa consideración
- Si se usa tecnología MR technology, los compresores necesitan ser diseñados para la presión de asentamiento del sistema para minimizar la carga a la antorcha.

■ Turbinas

- Las turbinas a gas tienen una gran ventaja por encima de las turbinas a vapor, especialmente las aeroderivadas (bajo peso, requiere poco espacio, alta relación peso potencia, bajo mantenimiento, buen control de velocidad, etc.)



Sistemas de Amarre

- Propósito del sistema de amarre
 - El propósito principal es mantener la posición de un buque flotante dentro de un círculo de vigilancia permitido
- Tipos:
 - Desconectable
 - Permanente





Modularizacion / Fabricacion

❑ Modularizacion Necesaria

- Layout / Optimizacion de Espacio
- Mantenimiento de una Fabricacion Controlable
- Schedule
- Control de Riesgo
- Rentabilidad
- Control de Montaje





Modularización / Fabricación



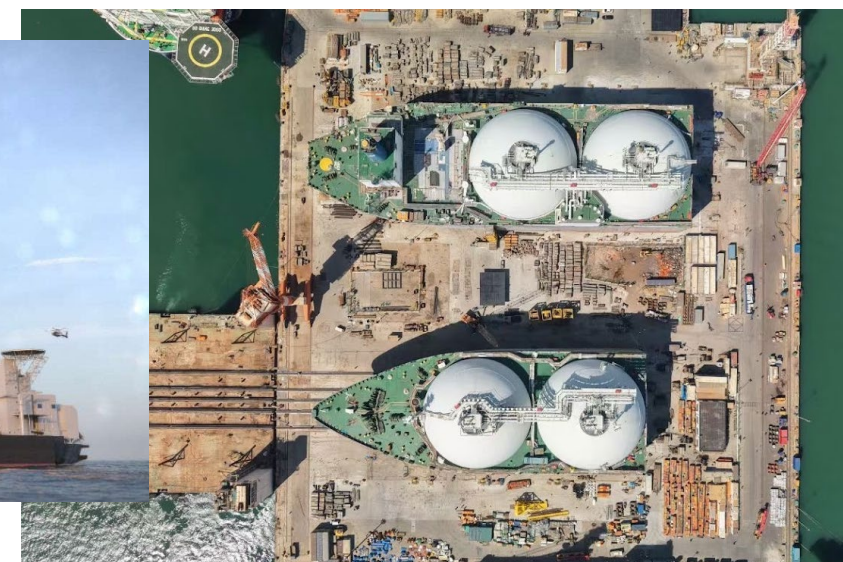
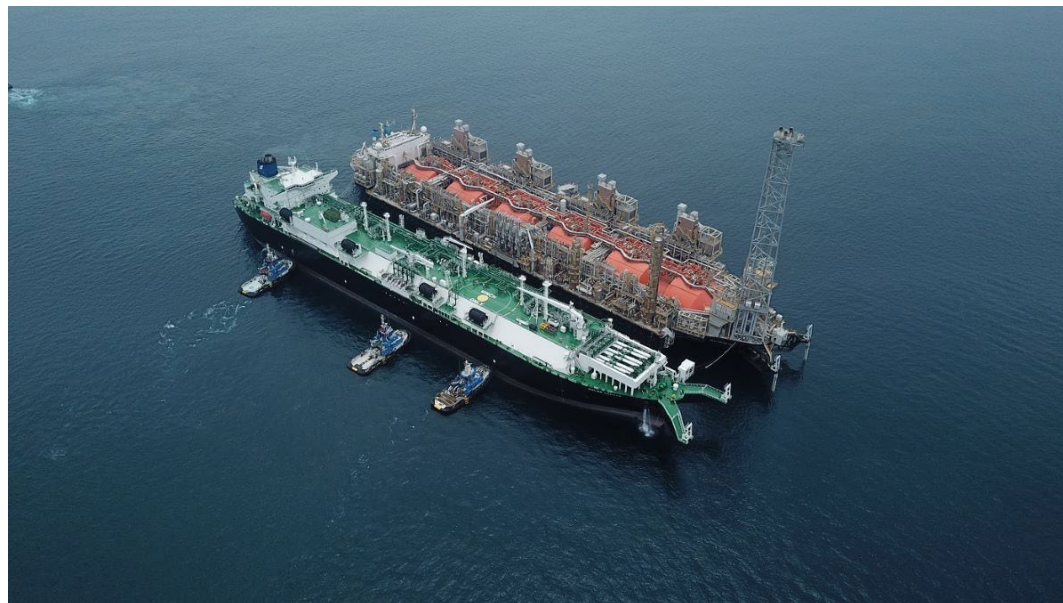


○ **Los proyectos de Argentina**

- Golar Hilli y MkII – B&V PRICO (2.45 + 3.5) MMTPA
- ArLNG II – Shell – DMR 6 MMTPA
- ArLNG III – ENI – Chart IPSMR (6 + 6) MMTPA



FLNG Golar





Tecnologías de Licuefaccion

Muchas Gracias!

