



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

---

FACULTAD DE QUÍMICA

**“EVALUACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DISPONIBLES  
PARA REGASIFICACIÓN DE GAS NATURAL LICUADO”  
(GNL)**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

PRESENTAN

Rosado Cruz Mayra Jazmín

Olvera Silva Juan Gerardo



MÉXICO, D.F.

2009



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**JURADO ASIGNADO:**

**PRESIDENTE:** Profesor: Antonio Valiente Barderas

**VOCAL:** Profesor: José Antonio Ortiz Ramírez

**SECRETARIO:** Profesor: Pedro Roquero Tejeda

**1er. SUPLENTE:** Profesor: Rodolfo Torres Barrera

**2° SUPLENTE:** Profesor: Alejandro Zanelli Trejo

**SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA:**

**TORRE DE INGENIERÍA UNAM**

**ASESOR DEL TEMA:**

---

**JOSÉ ANTONIO ORTIZ RAMÍREZ**

**SUSTENTANTES:**

---

**ROSADO CRUZ MAYRA JAZMÍN**

---

**OLVERA SILVA JUAN GERARDO**

## AGRADECIMIENTOS DE MAYRA.

Al ser más maravilloso, el único y sabio Dios por darle sentido y razón a mi vida por que lo que soy y lo que pudiera llegar a ser es solamente por él y para él.

A mis padres, Evid e Idamis por su esfuerzo, dedicación y amor para conmigo, éste trabajo lo dedico a ustedes como una pequeña muestra de honra por todo lo que han hecho por mi, los amo.

A mis hermanos Angélica, Hugo, Luis, Idamis y de forma especial a Eva y David, su apoyo brindado ha significado mucho para mí.

A todos mis amigos que como dice una canción por ahí no tengo que dar nombres ni apellidos, ellos lo saben y se dan por aludidos, por los gratos momentos que con ellos he vivido y por la amistad que ha surgido en estos años de estudio que estoy segura continuará.

A Gerardo por aguantar mis momentos de impaciencia así como mis regaños, ya que a pesar de que un trabajo así no es fácil lo logramos.

A los compañeros de la torre de ingeniería del proyecto de regasificación por todas sus aportaciones y ayuda para llevar a cabo esta tesis.

## AGRADECIMIENTOS DE GERARDO

Esta tesis esta dedicada a todas las personas que a lo largo del tiempo me han apoyado con un consejo, un regaño o simplemente con su compañía tanto en victorias como en fracasos. Me es imposible nombrar a todos pero ellos saben que los aprecio por igual.

En especial la primera persona a quien le debo gran parte de este logro es a la Sra. Ana Ma. Silva por siempre estar junto a mí, apoyándome y dando todo lo que podía, para que lograra superarme y cumplir las metas por las que siempre he luchado, gracias mama.

A mi tío Genaro por confiar en mi persona y nunca tener dudas de lo que puedo lograr, gracias tío.

Para mi hermana, papa, abuelitos y primos gracias por el apoyo incondicional que me han dado no solo en la escuela también en lo personal.

No puedo dejar de lado a una parte muy importante de mi vida que son mis amigos en especial Mayra mi compañera de tesis que siempre llevo una perfecta coordinación de la misma y siempre me dio un consejo cuando lo necesite.

En cuanto a Luis Manuel, Arturo, Francisco, Ana, Jacobo, Lilian, Lucia, Velia, Nancy, Miriam, Jose, Miguel, Julio, Gil, Karina, Carlos y Jair son los amigos que incluso cuando seamos viejos estaremos juntos, gracias por esos momentos inigualables de diversión.

A los ingenieros Anaya, Domínguez, Jimenez, Mejia, Mejia, Rosas, Fuentes, Delgadillo, Vázquez, Ramos, Montero, Bailón, Garcia, Guido, Marin, Muñoz, Ríos, Osornio, Quintanar, Trejo y Luna gracias a toda la buena vibra de cada uno aporto para llegar a hacer un excelente equipo y una incomparable amistad, Gracias IQs.

Por ultimo agradezco a Pegaso Compresores por la confianza depositada en mi persona y la experiencia adquirida en poco tiempo.

ABUELITO ENCARNACION SE LO PROMETI Y AQUÍ ESTA MI TESIS GRACIAS POR TODO!!

## AGRADECIMIENTOS DE AMBOS

Le damos las gracias al Ingeniero Jose Antonio Ortiz Ramirez por la asesoría y buena disposición de su persona hacia nosotros, así como a nuestro jurado por haber colaborado aportando ideas con el único fin de que esta tesis se presentara de una forma excepcional, gracias ingenieros

# INDICE

<b>Introducción.....</b>	<b>1</b>
<b>Capítulo 1. ANTECEDENTES.....</b>	<b>3</b>
<b>Capítulo 2. DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DISPONIBLES</b>	
<b>.....</b>	<b>1</b>
2.1. Descripción del proceso.....	12
2.2. Vaporizadores.....	14
2.2.1 Vaporizadores con fuente de calor.....	19
2.2.1.1. Vaporizadores con fuente de calor integral.....	19
2.2.1.1.1 Vaporizadores de combustión sumergida.....	19
2.2.1.2. Vaporizadores con fuente de calor remota.....	21
2.2.1.2.1. Vaporizadores de baño de agua.....	21
2.2.1.2.2. Vaporizadores de fluido intermedio con calentador a fuego directo.....	22
2.2.1.2.3. Vaporizadores Mustang Inteligente.....	23
2.2.1.2.4. Vaporizadores utilizando torres inversas de enfriamiento.....	25
2.2.2. Vaporizadores ambientales.....	26
2.2.2.1. Vaporizadores de rejilla abierta.....	26
2.2.2.2. Vaporizadores de tubos y coraza.....	28
2.2.2.3. Vaporizadores de aire directo ambiente.....	29
2.2.3. Vaporizadores de proceso.....	32
2.2.3.1. Vaporizadores de fluido intermedio.....	32
2.2.3.2. Vaporizadores Termosifón con fluido intermedio.....	34
2.2.3.3. Vaporizadores integrando combustión sumergida con un sistema de recuperación de calor de residuos.....	35
2.2.3.4. Vaporizadores integrando aire ambiente con un sistema de recuperación de calor de residuos.....	37
<b>Capítulo 3. EVALUACIÓN TÉCNICA.....</b>	<b>40</b>
3.1. Vaporizadores de combustión sumergida.....	43
3.2. Vaporizadores de baño de agua.....	45
3.3. Vaporizadores de fluido intermedio con calentador a fuego directo.....	47

# INDICE

3.4. Vaporizadores Mustang Inteligente.....	49
3.5. Vaporizadores utilizando torres inversas de enfriamiento.....	50
3.6. Vaporizadores de rejilla abierta.....	52
3.7. Vaporizadores de tubos y coraza.....	54
3.8. Vaporizadores de aire directo de ambiente.....	56
3.9. Vaporizadores de fluido intermedio.....	59
3.10. Vaporizadores Termosifón con fluido intermedio.....	60
3.11. Vaporizadores integrando aire ambiente con un sistema de recuperación de calor de residuos.....	61
3.12. Vaporizadores integrando combustión sumergida con un sistema de recuperación de calor de residuos.....	62
3.13. Tabla comparativa de tecnologías.....	64
<b>Capítulo 4. EVALUACIÓN AMBIENTAL.....</b>	<b>66</b>
4.1.1 Vaporizadores que utilizan agua de mar como fuente de calor.....	68
4.1.2 Vaporizadores que ocupan agua de mar incorporando un fluido intermedio como refrigerante.....	70
4.2 Vaporizadores que utilizan combustible como fuente de calor....	71
4.3 Vaporizadores que utilizan aire ambiente como fuente de calor.	72
4.4 Vaporizadores que integran el uso de combustible con alguna otra fuente de calor.....	72
4.5. Tabla comparativa de tecnologías.....	74
<b>Capítulo 5. PLANTAS DE REGASIFICACIÓN.....</b>	<b>75</b>
<b>Capítulo 6. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES....</b>	<b>86</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>89</b>

# INTRODUCCIÓN

# INTRODUCCIÓN

La energía es de suma importancia debido a su contribución con el desarrollo humano y económico a nivel mundial, por ser un elemento esencial en la calidad de vida y en su contribución en las actividades productivas.

En la actualidad debido a los altos costos y disminución de las reservas mundiales de petróleo, es necesario considerar fuentes alternas de energía, las cuales deben ofrecer beneficios ecológicos y económicos respecto a este combustible.

Por lo tanto el gas natural al ser una energía limpia y poco contaminante en comparación con otros combustibles por unidad de energía producida y su bajo impacto ambiental, cumple con los requisitos para ser considerado una excelente fuente alterna de energía. Además de que ofrece beneficios como ser un energético práctico, cómodo, económico, limpio y seguro que ofrece grandes posibilidades de utilización.

Al encontrarse el gas natural en condiciones no apropiadas para el uso eléctrico, industrial y doméstico, es necesario llevarlo a través de un proceso de licuefacción para convertirlo en gas natural licuado (GNL), para su transporte y posteriormente su regasificación el cual regresará al GNL de un estado líquido a gaseoso permitiendo su aprovechamiento en las áreas destinadas.

En la presente tesis se lleva a cabo el estudio del proceso de regasificación, tomando en cuenta que existen diferentes tecnologías para llevar a cabo esto. Este estudio tiene como finalidad evaluar las tecnologías para poder elegir cuál será la más adecuada dependiendo de las necesidades y condiciones del lugar donde se instale, considerando las cuestiones técnicas y ambientales que influirán directamente en su costo.

# CAPÍTULO 1

## ANTECEDENTES

## CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES

En los últimos años el gas natural se ha convertido en una fuente de energía importante y ha cobrado relevancia en todo el mundo. Ante las fuertes regulaciones ambientales, sobre todo para la generación de electricidad, el gas natural apareció como una opción bastante atractiva. El argumento que se utilizó para implantar este energético fue que se trataba de un combustible limpio, barato y abundante; estas dos últimas premisas no necesariamente se cumplieron. Basado en lo anterior en muchos países comenzó una reconversión de sus sistemas energéticos hacia el uso del gas natural.

El gas natural es un hidrocarburo que puede encontrarse en yacimientos y cuyo componente esencial es metano, además de ser un energético natural de origen fósil, que se encuentra normalmente en el subsuelo continental o marino. Se formó hace millones de años cuando una serie de organismos descompuestos como animales y plantas, quedaron sepultados bajo lodo y arena, en lo más profundo de antiguos lagos y océanos. En la medida que se acumulaba lodo, arena y sedimento, se fueron formando capas de roca a gran profundidad. La presión causada por el peso sobre éstas capas mas el calor de la tierra, transformaron lentamente el material orgánico en petróleo crudo y en gas natural. El gas natural se acumula en bolsas entre la porosidad de las rocas subterráneas. Pero en ocasiones, el gas natural se queda atrapado debajo de la tierra por rocas sólidas que evitan que el gas fluya, formándose lo que se conoce como un yacimiento.

El gas natural se puede encontrar en dos formas "asociado", cuando en el yacimiento aparece acompañado de petróleo y "no asociado" cuando está acompañado únicamente por pequeñas cantidades de otros hidrocarburos o gases.

# CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES

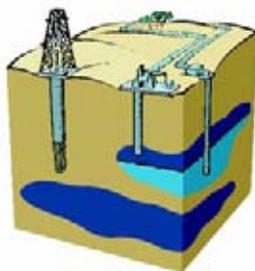


Figura 1. Esquema de un yacimiento de gas natural

La composición del gas natural incluye diversos hidrocarburos gaseosos, con predominio del metano, sobre el 90%, y en proporciones menores etano, propano, butano, pentano y pequeñas proporciones de gases inertes como dióxido de carbono y nitrógeno.

Componente	Unidad LNG	Composición
Metano	Mol %	92.42
Etano	Mol %	5.01
Propano	Mol %	1.60
n-butano	Mol %	0.35
i-butano	Mol %	0.23
n-pentanos	Mol %	0.00
i-pentanos	Mol %	0.05
Nitrógeno	Mol %	0.34
Peso Molecular		17.50
Calor	J/nm <sup>3</sup>	30.624
Gravedad específica		0.604

Tabla 1. Composición Típica del Gas Natural proveniente de Gorgón Australia.

## CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES

Mundialmente, en el año 2003, el gas natural ocupaba el tercer lugar entre las fuentes de energía primaria con un 24% del total.

Los usos más comunes del gas natural son:

- Aplicación Doméstica
- Aplicación Comercial
- Aplicación Industrial
- Cogeneración Termoeléctrica

El gas natural licuado (GNL) ha sido sometido a un proceso de licuefacción, que consiste en llevarlo a una temperatura aproximada de  $-160^{\circ}\text{C}$  con lo que se consigue reducir su volumen 600 veces. Esto permite transportar una cantidad importante de GNL en buques llamados metaneros.

El GNL se halla en estado líquido mientras que el gas seco (que viaja por gasoducto) se encuentra en estado gaseoso. Las etapas desde que se extrae el gas natural a llevarlo a GNL constan de distintos procesos como son:

La licuefacción que es el proceso destinado a licuar el gas natural, y se realiza en módulos de procesamiento llamados trenes.

Los procesos involucrados son los siguientes:

- a) Extracción de  $\text{CO}_2$ : Se realiza la purificación del gas por adsorción del dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y el agua existentes en el mismo, por medio de la aplicación de una corriente inversa de solución de mono-etanol-amina (MEA).
- b) Deshidratación y filtrado: Se le extrae la humedad al gas hasta lograr valores menores a 1 ppm. Luego se realiza un filtrado

## CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES

para extraer trazas de mercurio y partículas sólidas, y además se produce la separación de los hidrocarburos pesados por condensación parcial.

Los procesos hasta aquí mencionados tienen como objetivo eliminar los componentes no deseados y aquellos susceptibles de congelarse.

La licuefacción se completa con otros dos pasos:

- a) Circuito de refrigeración que elimina el calor sensible y latente del gas natural, de forma que se transforma de estado gaseoso a alta presión a estado líquido a presión atmosférica.
- b) Después de licuar el gas natural, éste es subenfriado antes de ser almacenado y transportado.

En el transporte al ser grandes las distancias que debe recorrer el GNL se hace a través de buques llamados metaneros, las principales zonas de producción en el mundo se encuentran alejadas de las terminales de regasificación por lo cual no se puede transportar por ductos.

Los buques de transporte de gas natural licuado, son probablemente los barcos mercantes más sofisticados y de más alta tecnología. Todos cuentan con doble casco <sup>1</sup> y en el lugar de las bodegas tienen habilitados uno o varios depósitos criogénicos que permiten mantener la carga a una temperatura por debajo de cero grados centígrados.

<sup>1</sup> Se compone de dos paredes una interna para soportar las propiedades físico químicas y resistir la carga hidrostática y una externa para apoyar y proteger un aislamiento criogénico entre ambas paredes

## CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES

Los transportadores de GNL son embarcaciones especialmente diseñadas y aisladas para prevenir fuga o ruptura en el evento de un accidente. El GNL se almacena en un sistema especial dentro del casco interior donde se le mantiene a presión atmosférica y  $-160^{\circ}\text{C}$ .

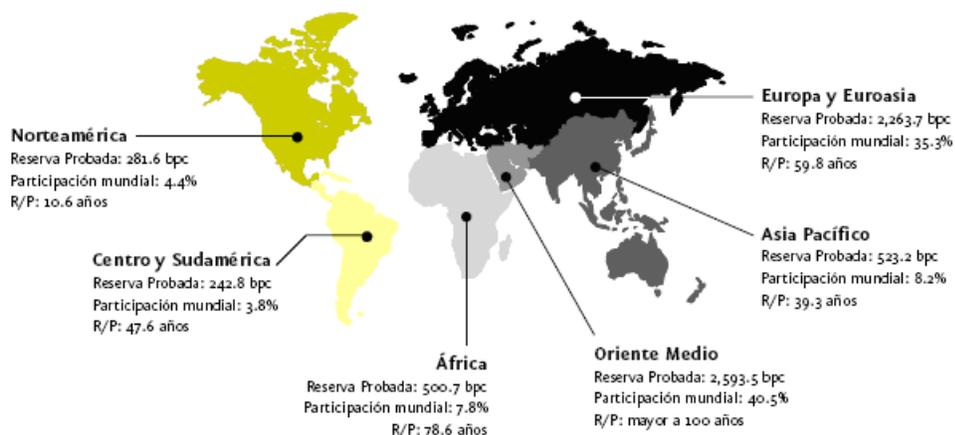


Figura 2. Distribución regional de las reservas probadas de gas seco<sup>2</sup>.

En función del aislamiento de los tanques, estos transportes pueden ser principalmente de dos tipos, ambos igualmente idóneos, de modo que resulta muy difícil distinguir el mejor:

- El diseño esférico (Tipo "Moss")
- El diseño de membrana

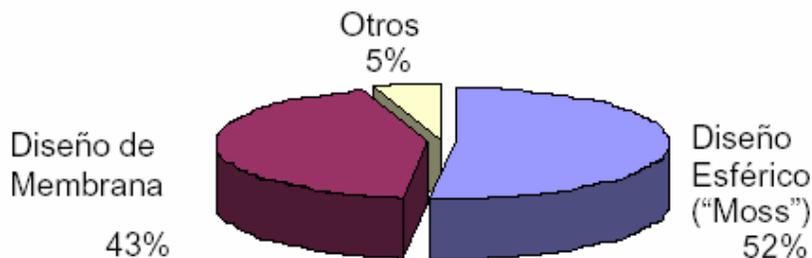


Figura 3. Tipos de buques metaneros en el mundo.

<sup>2</sup> Sener con base en información de BP Statistical Review of World Energy, 2007.

## CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES

Los metaneros Kvaerner Moss incorporan varios depósitos contruidos en una aleación de aluminio y de forma esférica que a simple vista destacan sobre la cubierta. Los metaneros de membrana se denominan así porque sus tanques disponen de una membrana de acero corrugado y expandible. Se distinguen porque en su cubierta sobresale una gran estructura, normalmente prismática.



Figura 4. Buque metanero tipo Moss

Actualmente la mayoría de los barcos de GNL usa los tanques esféricos (tipo "Moss"). El buque típico puede transportar alrededor de 125,000 – 138,000 m<sup>3</sup> de GNL, lo cual se convierte a 73,6 y 79,3 millones de m<sup>3</sup> de gas natural. Mide 274 metros de longitud, alrededor de 42 metros de ancho y 10 metros de casco sumergido, y cuesta alrededor de 160 millones de dólares<sup>3</sup>. El tamaño de esta embarcación es similar a la de un porta-aviones, pero significativamente más pequeña que un barco muy grande de transporte de petróleo (Very Large Crude Carriers: VLCC).

<sup>3</sup> *Asociación de gas natural licuado de Chile 2004*

## CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES

Los transportadores de GNL son generalmente menos contaminantes que otras embarcaciones, porque utilizan gas natural y combustóleo como fuente de energía para la propulsión.

El GNL se vaporiza a través de una planta de regasificación. A su llegada a la terminal en estado líquido, primero es bombeado a un tanque de almacenamiento de doble-pared (a presión atmosférica), similar al usado en la planta de licuefacción, y después es bombeado a alta presión a través de diferentes partes de la terminal donde es calentado en un ambiente controlado.

Los tanques de almacenamiento del GNL se construyen de doble pared con aislamiento intermedio, con capacidades que van desde los 2.000 m<sup>3</sup> hasta los 200.000 m<sup>3</sup>. El diámetro de estos tanques es del orden de los 60 a 70 metros. Se suele emplear un techo de aluminio, resistente a baja temperaturas.

El GNL se calienta circulándolo por intercambiadores de calor llamados vaporizadores. Una vez que el gas es vaporizado se regula la presión y entra en la red de gasoductos como gas natural.

Finalmente, los consumidores residenciales y comerciales reciben el gas para su uso diario proveniente de las compañías de gas locales o en forma de electricidad.

En la presente tesis se hará un estudio acerca de las diferentes tecnologías de regasificación, es decir de los vaporizadores existentes, con el fin de dar a conocer las ventajas y desventajas que pueden existir entre una y otra.

CAPÍTULO 2

DESCRIPCIÓN DE LAS  
TECNOLOGÍAS DISPONIBLES

## CAPÍTULO 2. DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DISPONIBLES

Para poder describir las tecnologías, es necesario conocer el proceso de regasificación en su totalidad poniendo especial énfasis en la parte de vaporizadores ya que estos son el criterio principal para seleccionar el tipo de tecnología que se instalara en la planta.

### **2.1. Descripción del proceso**

El proceso en un principio consiste en la recepción de GNL que es transportado en buques metaneros desde países con grandes yacimientos de este energético hasta el muelle donde se encuentra la terminal de regasificación y almacenamiento. El contenido de estos buques se desplaza a través de un sistema de tuberías mediante brazos de descarga de líquido, también existe un brazo de retorno de vapor y un brazo de líquido/vapor como alternativa. Estos brazos están dimensionados para transportar el GNL a los tanques de almacenamiento con diámetros de 16" a 24" dependiendo de los tiempos de descarga del buque y de la capacidad de la planta. El líquido es impulsado por bombas del propio buque que son bombas sumergidas dentro de los tanques, que dan la presión suficiente en el sistema de distribución para impulsar el GNL a los tanques de almacenamiento.

La terminal cuenta con uno o más tanques de almacenamiento dependiendo de la cantidad de GNL que se requiera vaporizar, estos tanques son de tipo criogénico, de doble pared, de níquel al 9% y concreto para soportar las condiciones bajas de temperatura y presión atmosférica. El tamaño de estos tanques está en función de los horarios de descarga de los buques y de su capacidad. En general la capacidad de almacenamiento del tanque no debe ser menor al doble de la capacidad de un buque. En la actualidad existen distintos tipos de tanques los cuales pueden ser: externos, con el techo al descubierto y ocultos.

## CAPÍTULO 2. DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DISPONIBLES



Figura 5. Tipos de tanques de almacenamiento. <sup>4</sup>

Debido a los cambios de energía en el buque, tanques de almacenamiento, tubería y equipos, el GNL es evaporado en pequeñas cantidades, este fenómeno se llama boil-off. Este vapor es tratado en la planta por medio de un sistema de eliminación de vapores, compuesto por compresores, sopladores, recondensadores y sobrecalentadores.

Así durante la descarga, transporte y almacenamiento parte de este vapor producido es devuelto al buque a fin de evitar sobre presiones y depresiones tanto en el tanque como en los depósitos del buque considerando el factor de compresibilidad que es de 1 a 600, tras pasar por un separador de condensados, el cual regresa el líquido al tanque de almacenamiento y el vapor restante lo envía a un compresor donde se encuentran dos líneas de gas natural sobrecalentado, una línea es utilizada para devolver al buque una parte de vapor mediante el brazo de retorno y la otra línea es enviada a un recondensador de donde se envía en forma líquida a los vaporizadores y con esto continuar con el proceso.

<sup>4</sup> Fuente *Tokio gas*

## CAPÍTULO 2. DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DISPONIBLES

El líquido contenido en los tanques de almacenamiento es impulsado mediante bombas primarias que se encuentran sumergidas dentro de éstos a dos líneas, una que va al recondensador y otra directamente a los vaporizadores.

La función del recondensador es combinar el gas sobrecalentado que viene del compresor con el gas natural subenfriado de los tanques a fin de garantizar la condensación de los gases de ebullición teniendo en la salida de este equipo gas natural saturado, este líquido es impulsado mediante bombas secundarias que dirigen el gas natural saturado a los vaporizadores, se requiere esta condición para evitar gastos de energía en los vaporizadores y la bomba es de tipo Booster<sup>5</sup>, la cual proporciona presión al GNL para evitar pérdidas de energía en los vaporizadores. A la salida del recondensador se incorpora una línea de GNL que proviene directamente del tanque y posteriormente esta línea se divide para enviar nuevamente el GNL al tanque en caso de que los vaporizadores no estén operando.

### **2.2. Vaporizadores**

En una terminal de regasificación los vaporizadores son una pieza crítica en todo el equipo, ya que es donde ocurre el cambio de fase de líquido a vapor, la selección de estos es una tarea difícil ya que por las condiciones ambientales y de ubicación pueden variar en su diseño. Encontrar un sistema óptimo para el medio ambiente y en cuanto a costos es esencial para el diseño de la mayoría de los sistemas, tomando en cuenta también los criterios y costos tanto de operación como de mantenimiento. Ponderar el impacto neto de los

<sup>5</sup> *Bomba elevadora de presión*

## CAPÍTULO 2. DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DISPONIBLES

costos de capital en comparación con los gastos de funcionamiento dentro de las limitaciones ambientales de la terminal es igualmente vital para el sistema de selección que proporcionará la mejor relación costo-eficiencia para los propietarios de las terminales.

La selección entre las diferentes tecnologías comercialmente disponibles para la vaporización de GNL presenta una gran variedad de factores por lo cual no existe una fórmula universal para analizarlos, se necesitan considerar los siguientes puntos:

- La inversión inicial
- Costos de operación
- Mantenimiento
- Eficiencia
- Seguridad
- Tamaño
- Disponibilidad
- Impacto ambiental (emisiones de aire y emisiones de agua)

## CAPÍTULO 2. DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DISPONIBLES

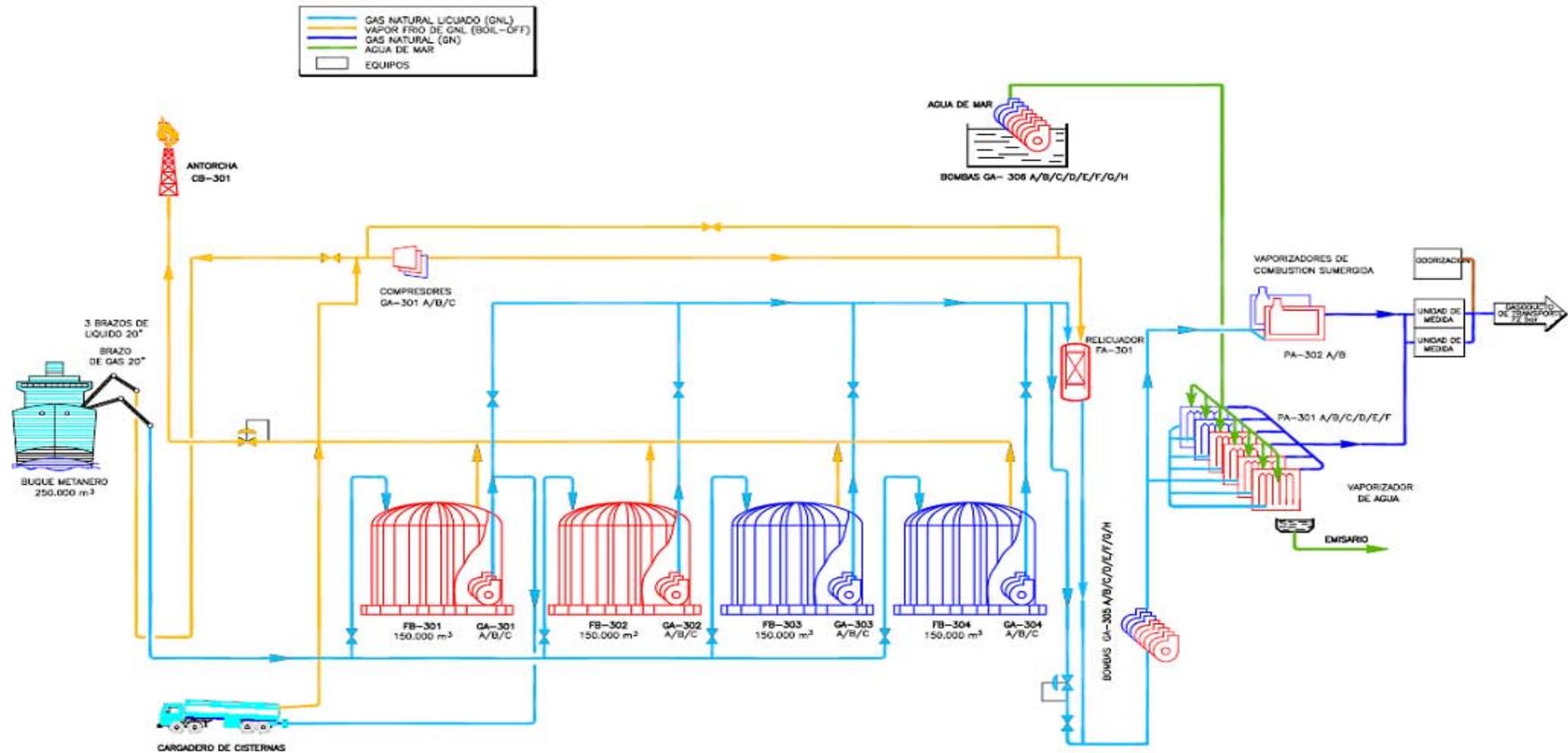


Figura 6. Diagrama de proceso de una planta típica de regasificación (El Musel)

## CAPÍTULO 2. DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DISPONIBLES

De acuerdo a la norma NFPA 59A el sistema de vaporización puede contar con uno o más tipos de vaporizadores dependiendo de su fuente de calor:

**Vaporizadores con fuente de calor.** Son los que obtienen su calor a partir de la combustión de algún combustible, energía eléctrica, o calor residual proveniente de equipos como calderas o del interior de motores de combustión.

Estos mismos se dividen en:

Vaporizadores con fuentes de calor integral. Son aquellos en los que la fuente de calor está integrada al intercambiador de calor de vaporización.

Vaporizadores con fuente de calor remota. Son aquellos en los que la fuente primaria de calor está separada del intercambiador de calor de vaporización y se usa un fluido secundario, como: agua, vapor de agua, isopentano, glicol, entre otros, como medio para transportar el calor.

**Vaporizadores ambientales.** Estos vaporizadores derivan su calor de fuentes naturales, tales como la atmósfera, agua de mar o aguas geotérmicas. Para estos equipos se debe especificar el gradiente de temperatura del flujo de fluido natural utilizado para calentar el GNL, si la temperatura de la fuente de calor natural sobrepasa los 100°C; se debe considerar un vaporizador con fuente de calor remota y si la fuente de calor natural está separada del intercambiador de calor de vaporización y se usa un medio de transporte de calor controlable entre la fuente y el intercambiador, se considera que el vaporizador es de fuente de calor remota.

**Vaporizadores de proceso.** Son aquellos que derivan su calor de otro proceso termodinámico o químico de tal manera que conserven o utilicen la refrigeración del GNL.

# CAPÍTULO 2. DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DISPONIBLES

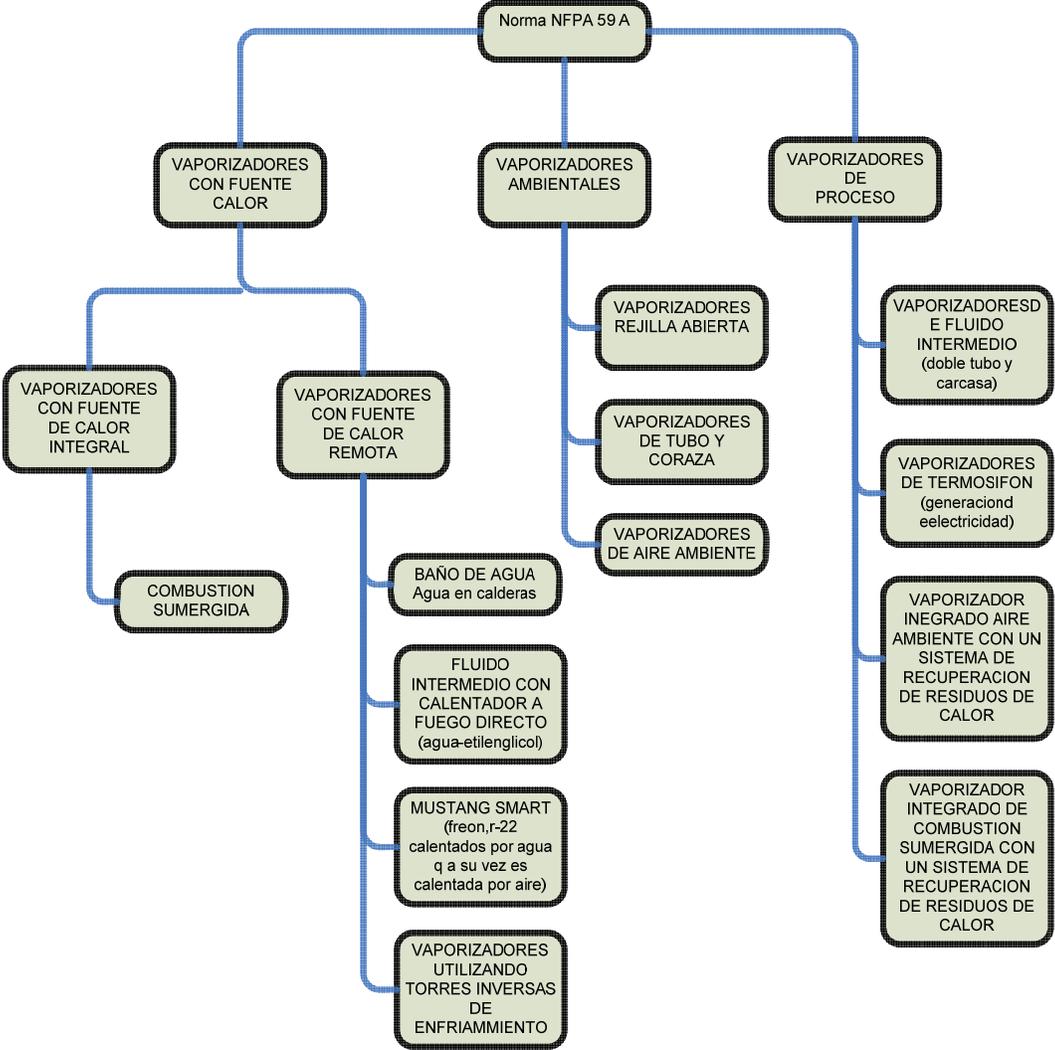


Figura 7. Esquema de división de vaporizadores según norma NFPA 59 A

## CAPÍTULO 2. DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DISPONIBLES

A continuación describiremos las características y en que consiste el proceso de cada uno de los vaporizadores de acuerdo a su clasificación:

### **2.2.1. VAPORIZADORES CON FUENTE DE CALOR**

#### **2.2.1.1 Vaporizadores con fuente de calor integral**

##### 2.2.1.1.1 Vaporizador de combustión sumergida

Es una tecnología muy utilizada ya que ha sido probada y su buen resultado operativo, bajo costo capital y sencillez de diseño se combinan para hacer de ésta una opción atractiva.

El sistema consiste en un paquete de tubos, montado de forma horizontal en un baño de agua, el calor es transferido del baño de agua al GNL que está fluyendo por el interior del paquete de tubos.

La temperatura de este baño de agua para lograr vaporizar el GNL se mantiene debido a los gases de combustión producidos por un quemador sumergido en el sistema que son burbujeados en el baño mediante un tubo de distribución dentro del mismo, creando dos fases. Las dos fases son llevadas hacia la superficie a través del baño de agua pasando por los tubos, y la alta velocidad de la mezcla agua/gas lava eficientemente la superficie de los mismos minimizando así la acumulación de hielo. Este sistema utiliza el mismo gas natural como fuente de calor.

## CAPÍTULO 2. DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DISPONIBLES

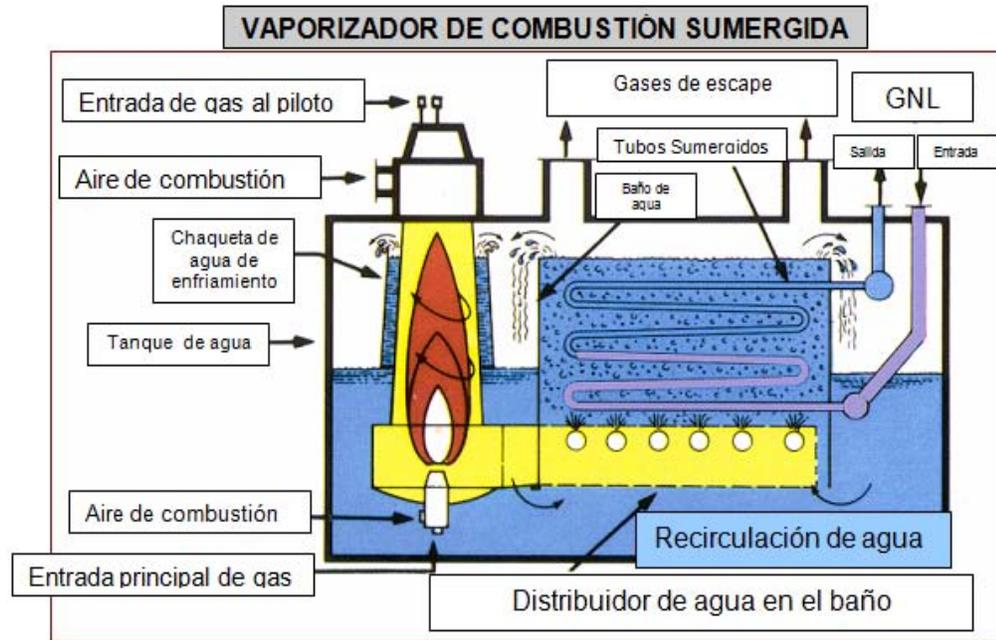


Figura 8. Vaporizador de combustión sumergida

El gas natural utilizado en el quemador proviene de la línea de Boil-off de la terminal el cual es inyectado a baja presión. Los gases que son enviados al baño de agua crean una temperatura relativamente baja (normalmente en el rango de 12°C a 32°C), es una fuente de calor térmicamente estable para la vaporización del GNL a través de los tubos sumergidos.

Los productos de la combustión después de ser separados de la mezcla gas/agua son emitidos a la atmósfera mediante una chimenea corta. La temperatura en esta chimenea se encuentra alrededor de 27°C.

El gas natural vaporizado sale de los tubos a la temperatura requerida para su distribución en lo referente a la presión esta se regula por medio de compresores.

Los vaporizadores de combustión sumergida pueden ofrecer alta eficiencia térmica. Desde que los productos de combustión son burbujeados directamente dentro del baño, casi todo el calor

## CAPÍTULO 2. DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DISPONIBLES

disponible es transferido al agua. El paquete de tubos está siempre inmerso en el agua lo que permite una alta capacidad térmica. La condensación del vapor de agua en los gases de combustión permite una producción neta de agua en los vaporizadores.

### **2.2.1.2 Vaporizadores con fuente de calor remota:**

#### 2.2.1.2.1 Vaporizadores de baño de agua:

Esta tecnología utiliza combustible como fuente de calor externa y como fluido secundario usa agua como medio de transporte para éste calor.

El agua es calentada en una caldera y posteriormente es enviada a un intercambiador de calor de tubos y coraza donde pasa a través de la coraza calentando el GNL que pasa a través de los tubos. Esta agua enfriada es enviada nuevamente a la caldera para ser calentada y llevada al intercambiador de calor nuevamente.

El diseño de éste tipo de vaporizadores requiere de un flujo estable de agua con el fin de evitar congelamiento en la coraza del equipo.

En esta tecnología el calor no es aprovechado totalmente debido a que la fuente de calor está separada del intercambiador de calor de GNL, así se pierde algo de calor en el transcurso en que el agua es transportado de la fuente de calor primaria al intercambiador de calor.

## CAPÍTULO 2. DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DISPONIBLES



Figura 9. Vaporizador de baño de agua

### 2.2.1.2.2 Vaporizadores de fluido intermedio con calentador a fuego directo:

Este sistema utiliza fuego directo para calentar un fluido intermedio el cual esta compuesto de una mezcla de agua y etilenglicol en proporción 60/40, este último se utiliza con el fin de evitar la formación de hielo en los equipos de intercambio de calor, este fluido es bombeado a intercambiadores de tubos y coraza. La cantidad de intercambiadores de calor depende de la cantidad de GNL que se requiere vaporizar.

## CAPÍTULO 2. DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DISPONIBLES

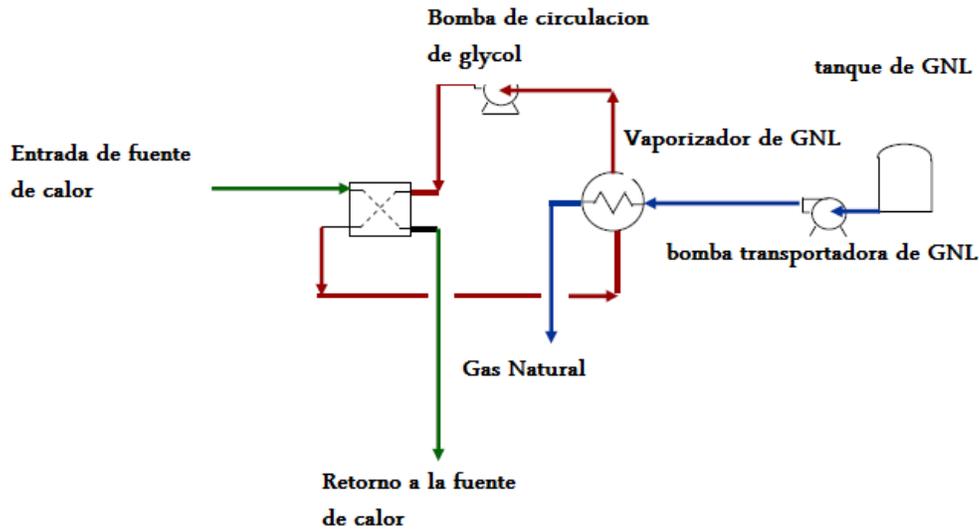


Figura 10. Vaporizador de fluido intermedio con calentador a fuego directo

### 2.2.1.2.3. Vaporizadores Mustang<sup>6</sup> Inteligente:

Es una de las alternativas más recientes, este nuevo proceso ha sido desarrollado para disminuir gastos de combustible y reducir emisiones. Este método de vaporización de aire usa intercambiadores de calor de aire disponibles comercialmente y trabajan en serie con un intercambiador secundario usando un fluido intermedio como medio de calentamiento que puede ser propano, R-22 Freon, o formiato de potasio (KF) o Envirokool un fluido ambientalmente amigable utilizado para evitar la formación de hielo.

<sup>6</sup> Mustang a Wood Group Company propietario de la tecnología

## CAPÍTULO 2. DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DISPONIBLES

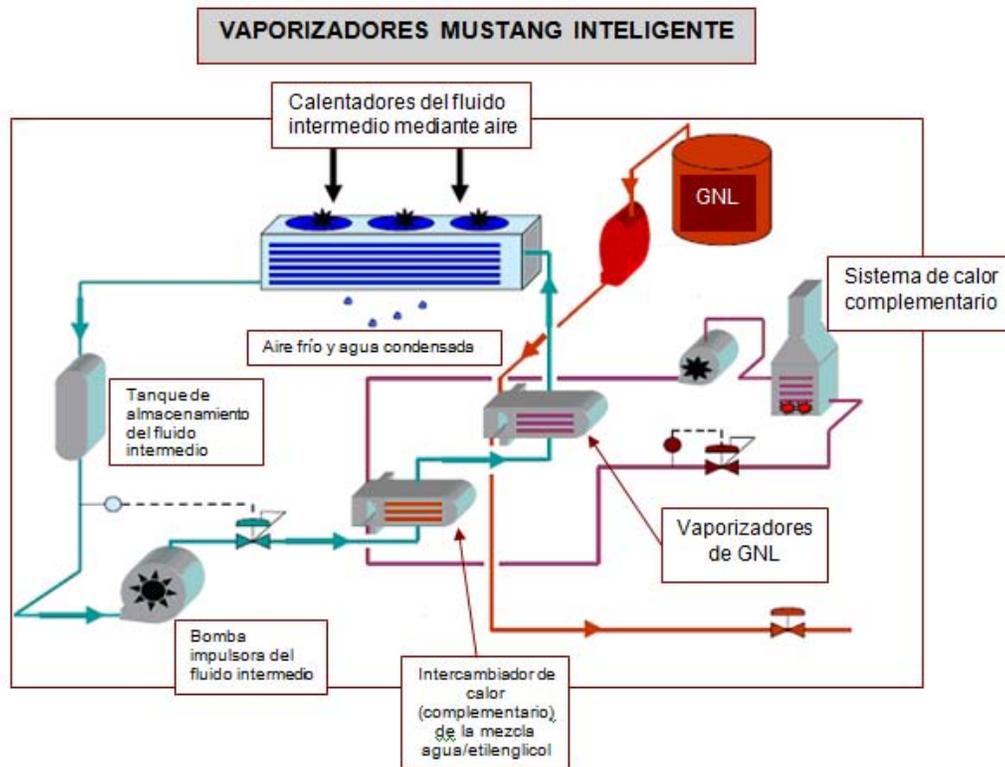


Figura 11. Vaporizador Mustang

El fluido intermedio calentado es enviado a un tanque de balance, este fluido se bombea desde el tanque nuevamente a los vaporizadores de tubos y coraza donde se proporciona el calor del fluido intermedio al GNL, y posteriormente ya que es enfriado es enviado nuevamente a los calentadores de aire.

Los calentadores de aire utilizados en esta tecnología son proporcionados exclusivamente por Mustang, ya que de ellos es la ingeniería desarrollada para llevar a cabo este proceso. Cada calentador de aire contiene tubos intercambiadores de calor que poseen aletas por donde pasa aire ambiente de los alrededores y fluye a través de la parte superior de la unidad hacia abajo a lo largo de los tubos. Los calentadores de aire se encuentran elevados para evitar la recirculación de aire frío denso por la parte inferior y así disminuir la formación de niebla.

## CAPÍTULO 2. DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DISPONIBLES

Al igual que ocurre con los otros vaporizadores de aire, es necesario calor suplementario cuando debido a las condiciones ambientales la cantidad de calor suministrada no puede ser satisfecha.

### 2.2.1.2.4. Vaporizadores utilizando torres inversas de enfriamiento:

El sistema utiliza dos fuentes de calor remota que es el aire y otra que es el combustible para calentar un fluido intermedio.

Originalmente las Torres de enfriamiento son utilizadas para enfriar el agua caliente a grandes volúmenes que es utilizada en algún proceso, lo que ocurre es que el agua es introducida a una torre empacada, estos empaques son con el fin de aumentar la superficie de contacto entre el agua y el aire que la enfría. El enfriamiento se lleva a cabo cuando al caer el agua en la torre a través de los empaques y el aire fluyendo a contracorriente con una temperatura de bulbo húmedo inferior a la del agua caliente intercambian calor.

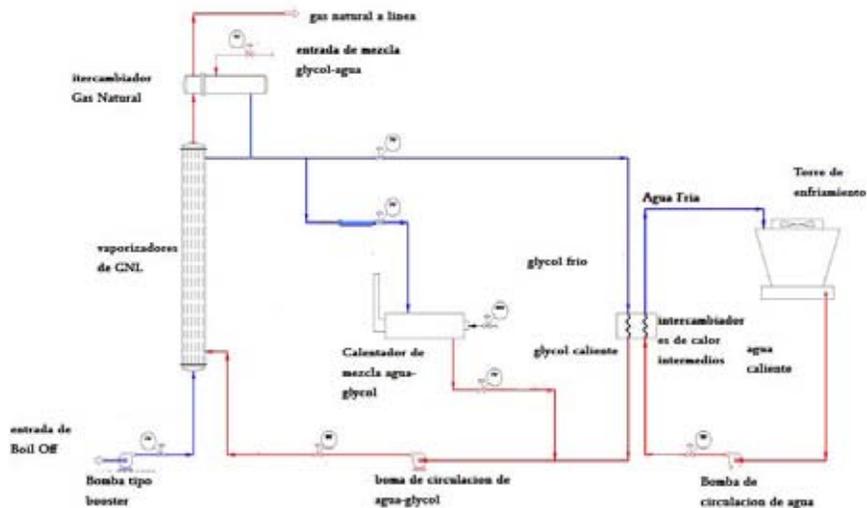


Figura 12. Vaporizadores de torre inversa de utilizando torres inversas de enfriamiento

## CAPÍTULO 2. DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DISPONIBLES

Sin embargo para esta tecnología el aire no es utilizado para enfriar el agua sino para calentarla por eso se llama torre inversa de enfriamiento.

Este tipo de tecnología consiste en la vaporización de GNL usando aire ambiente como fuente de calor primaria y combustible cuando se requiere, los dos con el fin de calentar un fluido secundario que es el que intercambiará calor con el GNL para calentarlo, este fluido intermedio es una mezcla de agua/etilenglicol.

Aunque la principal fuente de calor aquí utilizada es el aire ambiente, es necesario calor complementario para mantener la capacidad de entrega requerida cuando la temperatura desciende por debajo de su valor nominal y es aquí donde se utilizará el combustible para calentar el fluido intermedio, mediante calentadores a fuego directo.

### **2.2.2 VAPORIZADORES AMBIENTALES**

#### 2.2.2.1. Vaporizadores de rejilla abierta

Este vaporizador utiliza como fuente de calor el agua que proviene del mar para vaporizar el GNL. Este equipo está formado por paneles conductores de calor fabricados de una aleación de aluminio, este material le da al sistema buenas características mecánicas a bajas temperaturas, excelente manejabilidad y alta conductividad térmica. Los paneles son tubos aletados verticales recubiertos con una aleación de zinc para proporcionar resistencia a la corrosión debido al agua.

El GNL entra al vaporizador por la parte inferior de los paneles a través de un sistema de distribución y fluye hacia arriba por el interior de los tubos, este gas sale vaporizado por la parte superior del equipo y es enviado a las líneas de distribución. Mientras que el agua de mar es bombeada por unas bombas las cuales la llevan a la

## CAPÍTULO 2. DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DISPONIBLES

parte superior de los paneles y con un sistema de distribución se hace fluir el agua como película por fuera de los paneles a contracorriente con el GNL.

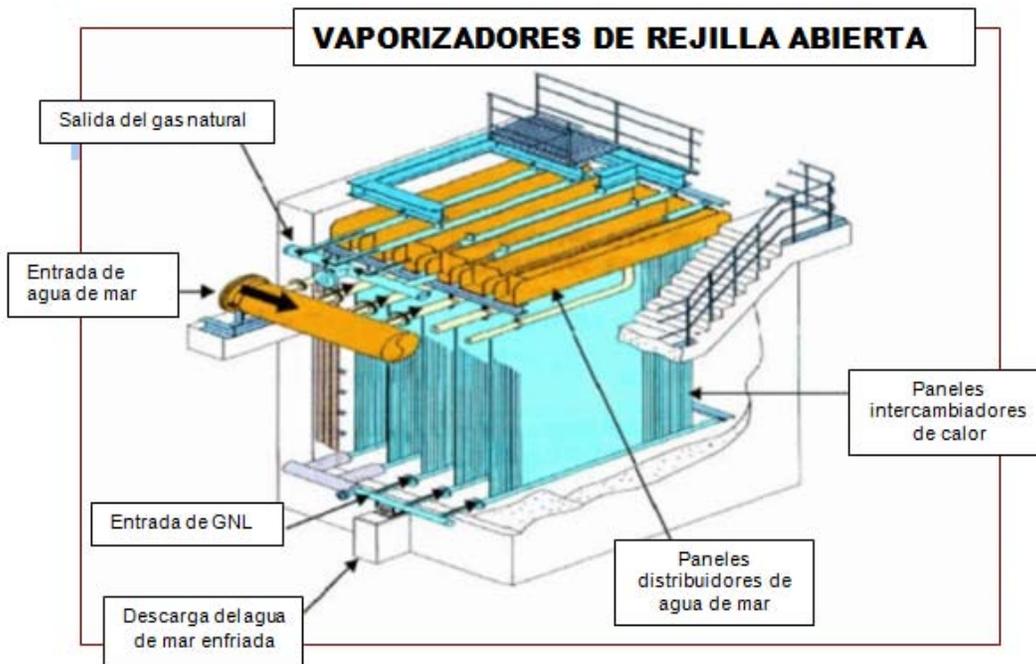


Figura 13. Vaporizador de rejilla abierta

La caída del agua en forma de película permite un alto rendimiento en el sistema y reduce la formación de hielo en la superficie de los paneles y si hubiese formación de hielo no interfiere con el flujo de agua.

El agua enfriada por el intercambio de calor con el GNL es recolectada en la parte inferior del vaporizador en una cuenca de concreto para posteriormente ser enviada a un desagüe que la devuelve al mar. El máximo cambio de temperatura en el agua está limitado a 8°C menor a la temperatura a la cual entra a los vaporizadores y este frío puede ser utilizado en comunidades locales

## CAPÍTULO 2. DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DISPONIBLES

y empresas (específicamente la industria pesquera) y el gas natural sale a una temperatura de 5°C.

### 2.2.2.2 Vaporizadores de tubos y coraza:

Este sistema se forma de una configuración sencilla de intercambiadores de calor de tubos y coraza donde se usa agua de mar como fuente de calentamiento para el GNL, mientras éste pasa a través de los tubos.

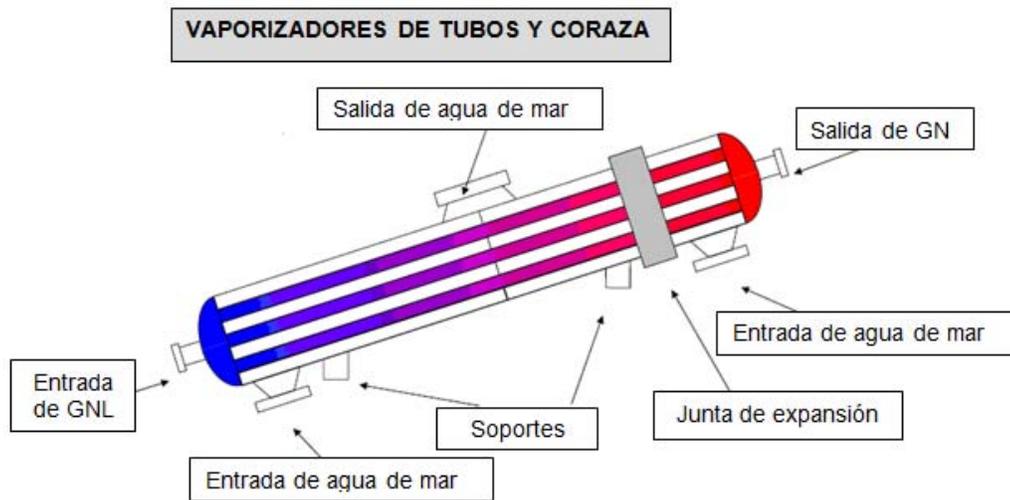


Figura 14. Vaporizadores de tubos y coraza.

Hay dos lados en la coraza para la entrada de agua de mar y uno más para la salida de agua de mar. La mitad del agua de mar entra al lado de la coraza por donde pasa la parte fría y va en contracorriente con el GNL, mientras que la otra mitad entra por donde pasa la parte caliente en contracorriente también con el GNL y esta agua sale entonces por el centro de la coraza.

El flujo de agua de mar debe ser alto en el intercambiador ya que si se disminuye o se para dramáticamente el equipo corre el riesgo de formación de hielo. A pesar de que aumenta el riesgo de congelamiento en la configuración de tubos y coraza en comparación del vaporizador de rejilla abierta, puede considerarse algún sistema

## CAPÍTULO 2. DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DISPONIBLES

para disminuirlo lo cual ocasiona un costo adicional. También debido a los altos costos de la aleación para evitar la corrosión con agua de mar, este tipo de intercambiador es más caro. La aleación puede ser de acero inoxidable donde es más susceptible a la corrosión, para disminuir este riesgo existe otro material llamado AL-6XN.

### 2.2.2.3. Vaporizadores de aire directo de ambiente:

La vaporización del GNL con esta tecnología se lleva a cabo mediante la transferencia directa de calor del aire ambiente con el GNL a través de intercambiadores de calor de transferencia superficial. Aquí el GNL pasa a través de un colector que divide el flujo en una serie de unidades de vaporización, donde pequeñas corrientes se dirigen a tubos individuales de transferencia de calor. Cada tubo tiene aletas de aluminio para un mayor intercambio de calor y estos tubos con aletas están en contacto directo con el aire ambiente.

## CAPÍTULO 2. DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DISPONIBLES

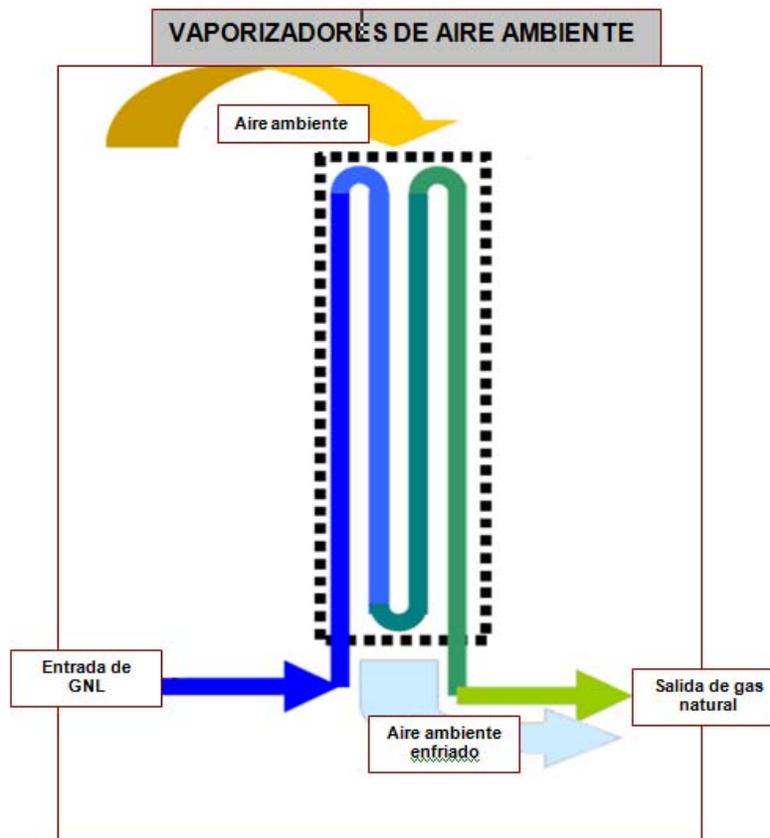


Figura 15. Vaporizadores de aire directo de ambiente.

El aire enfriado, ahora más denso se desplaza hacia la parte inferior de los vaporizadores. El flujo de aire a la salida de los intercambiadores es controlado de dos formas: flotabilidad natural del aire enfriado, aire denso y si se requiere, instalación de ventiladores de tiro forzado. El enfriamiento del aire ambiente puede ser controlado lejos de las áreas frecuentadas por personal de operación.

El agua presente en el ambiente que se condensa por el frío del GNL puede ser recolectada en cuencas debajo de los vaporizadores, ésta no requiere de ningún tratamiento significativo y tiene un impacto ambiental beneficioso.

Aunque el aire directo de ambiente solo puede calentar el gas hasta una temperatura próxima a la temperatura ambiente, las

## CAPÍTULO 2. DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DISPONIBLES

unidades pueden proporcionar un alto porcentaje del total de carga de calor para vaporizar todo el GNL.

**De estos vaporizadores existen 2 tipos:**

### **Vaporizadores de aire ambiente por convección natural**

Este proceso se lleva a cabo con la corriente de convección natural del viento al moverse este aire sobre los tubos y las aletas de la unidad de vaporización. Con el aire caliente en contacto con los tubos por los cuales pasa el GNL, se enfría y se vuelve más denso, causando que este flujo fluya hacia abajo del vaporizador y salga por la parte inferior.



Figura 16. Vaporizador de aire ambiente por conveccion natural.

### **Vaporizadores de aire ambiente de tiro forzado**

En este tipo de vaporizador el flujo de aire que entra para vaporizar el GNL es controlado por unos ventiladores instalados en la parte superior del vaporizador. Cada unidad puede ser equipada con pantallas térmicas en el vaporizador con el fin de tener un mayor intercambio de calor. Estos equipos son aproximadamente 1.7 veces

## CAPÍTULO 2. DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DISPONIBLES

más eficaces que los de convección natural, es decir, se desplaza a través de los tubos 1.7 veces más de aire.



Figura 17. Vaporizador de aire ambiente de tiro forzado

Debido a que el flujo de aire forzado es mayor en este caso, son necesarios menos vaporizadores para alcanzar la misma cantidad de gas natural deseado. Las emisiones y efluentes de las unidades de tiro forzado son similares a las de convección natural, salvo que en esta tecnología la formación de niebla es disminuida por el flujo de aire forzado de los ventiladores en la parte superior de cada unidad en torno a los tubos.

### **2.2.3 VAPORIZADORES DE PROCESO**

#### 2.2.3.1. Vaporizadores de fluido intermedio:

Este tipo de sistema consiste en la vaporización del GNL usando intercambiadores de tubos y coraza y como fuente de calor externa un fluido intermedio que es el que transmite el calor, el fluido intermedio se utiliza con el fin de evitar el congelamiento,

## CAPÍTULO 2. DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DISPONIBLES

regularmente es agua pero también puede ser utilizada una mezcla de agua-etilenglicol en proporción 40/60.

Este tipo de configuración de tubos y coraza utiliza un sistema de circuito cerrado por donde pasa agua de mar o una mezcla de agua de mar con etilenglicol para proporcionar calor utilizando intercambiadores de calor de doble tubo (U). El diseño incorpora paquetes de tubos inferiores y superiores y usa un fluido intermedio como refrigerante de transferencia de calor (propano, isobutano, freon,  $\text{NH}_3$ ) entre el GNL (tubos superiores) y el agua de mar o mezcla glicol-agua (tubos inferiores) dentro de una única coraza.

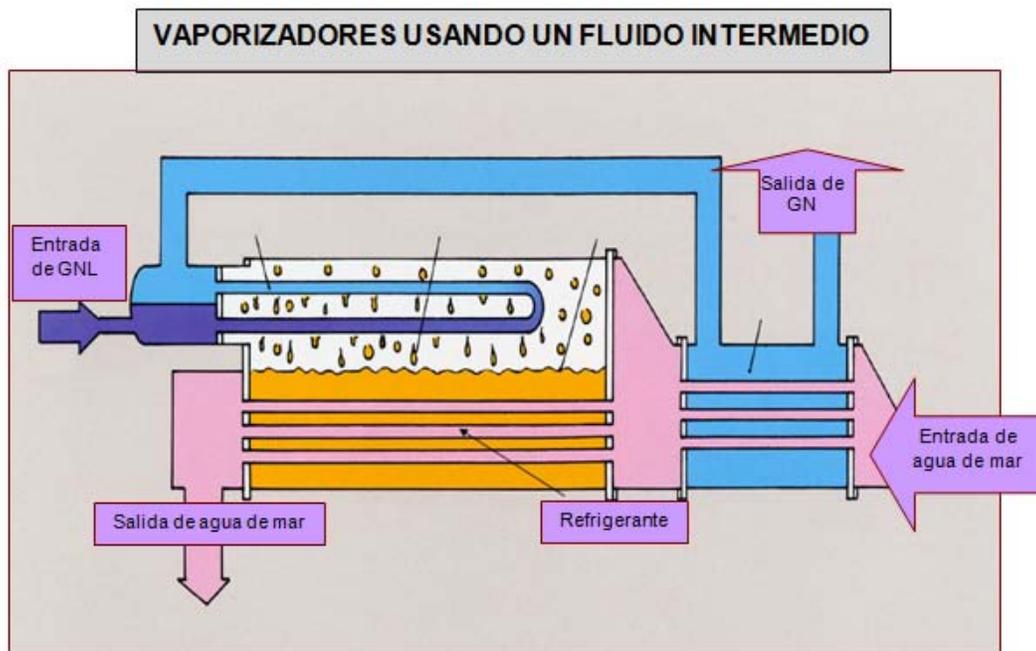


Figura 18. Vaporizador de fluido intermedio.

El refrigerante se mantiene en la coraza y el GNL pasa a través de un solo tubo que entra y sale por la parte superior del intercambiador de calor y la mezcla de agua/etilenglicol o el agua de mar entra por la parte inferior del intercambiador actuando como calentador de este fluido intermedio que dentro de la misma coraza es evaporado por el calor del agua y al estar en contacto con los

## CAPÍTULO 2. DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DISPONIBLES

tubos superiores por donde pasa el GNL es nuevamente condensado, creando así una convección natural.

### 2.2.3.2 Vaporizadores Termosifón con fluido intermedio:

Esta tecnología utiliza como fuente de calor primaria agua de mar y como medio de transporte de éste calor un fluido intermedio que actúa como refrigerante (típicamente propano).

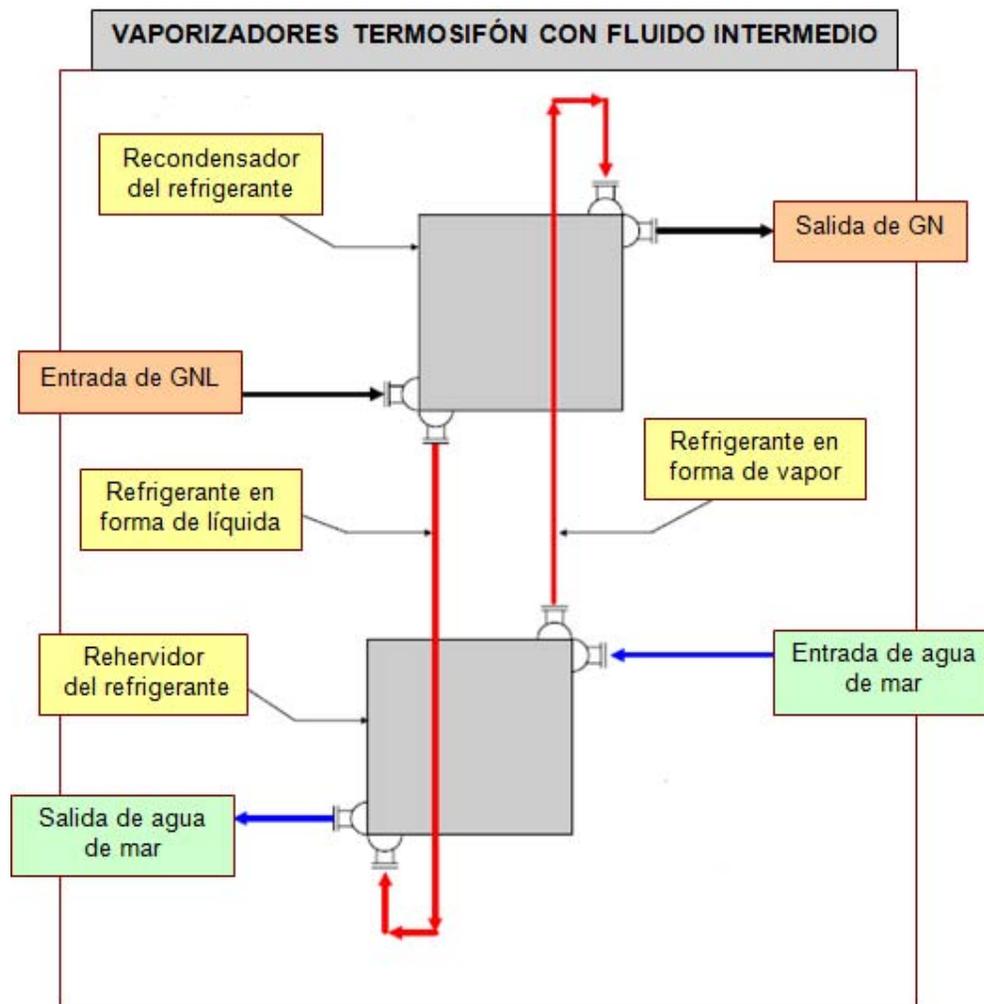


Figura 19. Vaporizadores de termosifón

Lo que ocurre en este proceso es el efecto termosifón del refrigerante, es decir, entra a un intercambiador de calor por la parte superior en forma de vapor donde cederá su calor al GNL, debido al

## CAPÍTULO 2. DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DISPONIBLES

calor cedido se vuelve líquido y desciende en el intercambiador, el refrigerante sale de este equipo para entrar a otro intercambiador, sólo que ahora por la parte inferior para ser calentado por agua caliente de mar donde subirá por la diferencia de densidades ya que se vuelve vapor, de esta manera se va recirculando el refrigerante saliendo por la parte superior para ser introducido nuevamente al intercambiador de calor con el GNL. Esto crea una recirculación de forma natural. Así uno de los intercambiadores de calor es utilizado como condensador del refrigerante mediante GNL y el otro intercambiador es utilizado como rehedidor del refrigerante mediante agua de mar.

Los intercambiadores de calor utilizados son de placas aunque para el caso de calentamiento del refrigerante mediante agua de mar pueden ser utilizados intercambiadores de calor de tubos y coraza tradicionales montados en una posición horizontal.

### 2.2.3.3. Vaporizadores integrando combustión sumergida con un sistema de recuperación de calor de residuos

Esta combina un vaporizador con fuente de calor integral y un sistema de recuperación de calor que aprovecha los gases de combustión del escape de una turbina que serían en este caso la fuente de calor remota, la tecnología utiliza el concepto de cogeneración que ofrece el ahorro de energía y muestra ventajas para el medio ambiente.

El sistema consiste en un vaporizador de combustión sumergida que opera con el gas natural de la misma planta, lo que hace que esta tecnología sea atractiva es la incorporación de un sistema de precalentamiento de agua a través del aprovechamiento de calor de los gases de combustión de una turbina generadora de energía.

## CAPÍTULO 2. DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DISPONIBLES

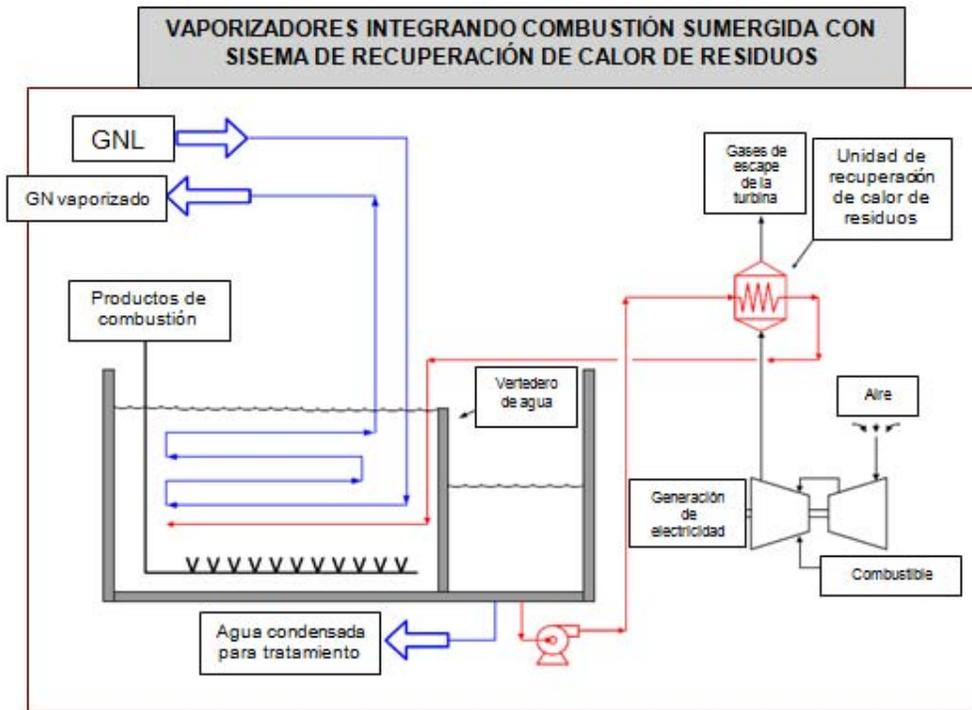


Figura 20. Vaporizadores integrando combustión sumergida con un sistema de recuperación de calor de residuos

El proceso consiste en el equipo de combustión sumergida por donde pasa el GNL a través de unos tubos y estos tubos están sumergidos en un baño de agua el cual es calentado por los gases de combustión de la quema del gas natural de la misma planta, estos gases son enviados al baño de agua mediante sopladores que crean en el baño un burbujeo que permite que se intercambie calor al GNL, y esta agua va recirculando dentro del sistema pero ya que tiene contacto con los gases de combustión se torna ácida. El agua de este baño es pasada por intercambiadores de calor en donde es calentada por los gases de combustión de la turbina y es llevada al baño de agua para que este calor sea aprovechado, los gases de combustión son liberados a la atmósfera.

Este sistema se ha creado con el fin de disminuir el consumo de gas del vaporizador de combustión sumergida, así como para

## CAPÍTULO 2. DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DISPONIBLES

aumentar la eficiencia y la economía en todo el proceso de regasificación, además de ofrecer ventajas para el medio ambiente.

Este sistema puede operar de 3 formas:

- Como combustión sumergida en su diseño original.
- Con el circuito cerrado de agua caliente de la planta generadora de energía con el quemador sumergido apagado.
- Con ambas fuentes de calor encendidas.

Normalmente la carga de gas de la turbina sigue la demanda de calor lo que evita el uso de vaporizadores de combustión sumergida, sin embargo a flujos altos de demanda deben encenderse los quemadores sumergidos como un suministro adicional de calor.

### 2.2.3.4 Vaporizadores integrando aire ambiente con un sistema de recuperación de calor de residuos

Esta tecnología utiliza vaporizadores de aire como precalentadores de GNL y un sistema de recuperación de calor de gases de escape de una turbina generadora de energía, estos gases de combustión son los utilizados como fuente de calor remota, así el diseño general es tal que la temperatura ambiente para calentar el GNL no es suficiente por lo que el sistema requiere de calentadores adicionales. Este sistema de calefacción complementaria se obtiene a partir de la transferencia de calor que proviene del escape de turbinas, usando un sistema de recuperación de calor por agua. En caso de calor adicional para poder vaporizar lo requerido se puede utilizar un sistema de calefacción a través de un conducto del quemador de gas que utiliza la turbina, este calentador puede ser un intercambiador de tubos y coraza convencional o un intercambiador (PCHE), este último intercambiador es de alta eficiencia con placas y pueden dar temperaturas ajustadas a altas presiones. Estos



## CAPÍTULO 2. DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DISPONIBLES

combinada con un conducto del quemador puede suplir aproximadamente 50% del calor total requerido. Sin necesidad de fuentes de calor externas.

Cabe destacar que las tecnologías pueden variar de acuerdo a las necesidades que se requieran, si es necesario se pueden combinar varias tecnologías o hacer adecuaciones de las mismas con el fin de mejorar el proceso.

# CAPÍTULO 3

## EVALUACIÓN TÉCNICA

## CAPÍTULO 3. EVALUACIÓN TÉCNICA

Para poder elegir una buena tecnología para que esta opere de manera satisfactoria es necesario conocer su disponibilidad, operación, mantenimiento, seguridad, tamaño y eficiencia para saber si esta es conveniente.

### **Disponibilidad.**

Los vaporizadores en muchos de los casos son tecnologías específicas, es decir muchas de ellas son patentes y por lo tanto el equipo solo puede conseguirse con un solo proveedor o los que existen son muy pocos o bien la competencia por su adquisición es grande.

### **Operación y mantenimiento.**

Aquí entran varias consideraciones como el requerimiento de energía eléctrica para operar ciertos equipos como bombas o sopladores. El uso de combustible, agua o aire dependiendo de la fuente de calor para vaporizar, así como el uso de aditivos o químicos para el tratamiento de efluentes y el control de las emisiones. En cuanto al mantenimiento

### **Seguridad.**

Es importante considerar este punto con el fin de evitar riesgos en la planta o costos adicionales para aumentar esta seguridad. Ya que el daño de algún equipo o el que ocurra un accidente o cualquier otro evento no deseado implica costos adicionales o pérdida de producción en la planta e incluso dependiendo de la magnitud del daño el cierre definitivo. Por lo tanto consideramos si los equipos tienen partes móviles y dependiendo del tipo de fuente de calor se considera la fuente de ignición. Sin embargo los riesgos más altos a tratar en cuanto al GNL son su baja temperatura (criogénica) y combustibilidad. En cuanto al GNL, los derrames de este combustible se evaporan rápidamente y el agua que existe en el aire se condensa

## CAPÍTULO 3. EVALUACIÓN TÉCNICA

creando una neblina lo cual aumenta aún más el riesgo. Sin embargo, el GNL no se prende fácilmente, si esto llegase a ocurrir la llama no es muy fuerte, no humea y no se extiende y el combate a este fuego es similar a uno de gasolina o gasóleo. En lugares abiertos no hay peligro de explosión.

### **Tamaño**

La fuente de calor a utilizar concierne en gran manera a la planta ya que entre menos calor aporte, se requiere de más equipos para poder producir la carga deseada de GNL o bien de equipos más grandes. Esto implica en la planta un costo adicional para su operación y mantenimiento, sin embargo dependiendo de la carga que se requiere vaporizar podría ser conveniente una planta grande pero en cuanto a su producción ya que entre más grande sea la planta la cantidad de gas natural que se envía a distribución es mayor. Pero si la carga que se requiere vaporizar se analiza con la misma tecnología y el tamaño de los equipos o de la planta difiere es conveniente entonces analizar cual de estas conviene.

### **Eficiencia**

Este es un factor muy importante ya que los equipos pudieran ser baratos en cuanto a operación y mantenimiento, quizá no muy grandes, estén disponibles en el mercado, sean muy seguros pero no ser eficientes. Así para lograr la carga requerida de gas a vaporizar se requerirán de más equipos aún o que se aumente la cantidad de agua, el aire o el combustible como fuente de calor. Esto implica una operación más compleja o que el gasto sea mayor ya que no se aprovecha al máximo, lo que se busca es que los recursos sean utilizados de la mejor manera posible.

## CAPÍTULO 3. EVALUACIÓN TÉCNICA

A continuación analizaremos estos puntos mencionados para cada tecnología, añadiendo también algunas características operacionales de los sistemas.

### **3.1 Vaporizadores de combustión sumergida**

#### Disponibilidad

Es una tecnología probada ya que alrededor del 20% de los vaporizadores en el mundo son de este tipo. En cuanto a disponibilidad existen varios proveedores incluyendo T-Thermal (Estados Unidos), Kaldair (Reino Unido) y Sumitomo (Japón).

#### Operación y Mantenimiento.

El sistema utiliza de 1.5 a 2% del gas natural que es vaporizado en la planta. Por lo tanto se debe considerar el equipo auxiliar como son los sopladores que se necesitan para introducir el aire junto con el boil-off a la cámara de combustión y al vaporizador, los cuales deben tener la capacidad de dar presiones suficientes y forzar a los productos de combustión a pasar por el baño de agua, otro equipo importante son las bombas que transportan y recirculan el agua al vaporizador. Cabe destacar que el agua debe tratarse con el fin de tener la calidad necesaria para no producir problemas en el equipo. Los tubos del vaporizador están siempre sumergidos dentro del baño de agua, por lo tanto el sistema proporciona una rápida respuesta en tiempos de arranque, paro y fluctuaciones rápidas de carga. Y el diseño es tal que el mismo sistema es limpiado minimizando la acumulación de hielo de debido a la circulación de los gases de combustión en el agua que la hacen tener una circulación, así que no es necesario un amplio plan de mantenimiento.

## CAPÍTULO 3. EVALUACIÓN TÉCNICA

### Seguridad

En lo referente a este tema es muy importante considerar que esta tecnología tiene como principal fuente de calor un combustible en este caso el mismo gas natural producido en la planta que es considerada una posible fuente de ignición dentro de la planta, por lo cual es necesario conocer las acciones a seguir en caso de una fuga o falla en el equipo, además se debe tener un especial cuidado en el agua que se necesita en el proceso ya que esta al ser medio de transporte de los gases de combustión como  $\text{NO}_x$  y  $\text{CO}_2$  tiende a tornarse acida debido a esto necesario estar monitoreando el pH para evitar riesgos en la planta. Todos los criterios de seguridad se encuentran reglamentados en las normas oficiales como son la NFPA 59 A y la NOM 013 de nuestro país.

### Tamaño

Estos vaporizadores no son muy grandes en comparación con otros equipos, al igual que su capacidad de vaporización debido al tipo de fuente de calor con la que cuentan, por lo que se recomienda tener varios equipos de acuerdo a la cantidad de GNL que se quiera vaporizar.

### Eficiencia

Con los equipos de combustión sumergida no es necesario depender de las condiciones del medio ambiente lo que es un punto a favor con respecto a su eficiencia sobre los demás equipos ya que al tener una fuente de calor propia puede trabajar incluso en ambientes muy fríos sin ningún problema, con respecto a los vaporizadores de aire es un 97% mas eficiente debido al intercambio turbulento en el baño de agua lo cual produce coeficientes de calor altos.

## CAPÍTULO 3. EVALUACIÓN TÉCNICA



Figura 22. Fotografía de un vaporizador de combustión sumergida

### **3.2 Vaporizadores de baño de agua**

#### Disponibilidad

Es una tecnología disponible y probada, sin embargo no es muy utilizada, algunos proveedores de esta tecnología son Cryoquip, Thermax.

#### Operación y mantenimiento

Este sistema debe ser operado a grandes flujos para evitar el congelamiento por lo que requiere de gran carga eléctrica para la succión de agua de mar, además de bombas de recirculación de agua de las calderas a los intercambiadores de calor y para que este flujo sea mantenido estable, para el calentamiento de agua es necesario gas natural de la misma planta como combustible. Se debe instalar un sistema de tratamiento de agua para evitar corrosión e incrustaciones dentro de los equipos.

## CAPÍTULO 3. EVALUACIÓN TÉCNICA

### Seguridad

Debido a la utilización de combustible, existe fuente de ignición en éste sistema, se tienen que tener las mismas consideraciones como en la tecnología de combustion sumergida y realizar programas de prevención en caso de alguna ignición.

### Tamaño

El tamaño de estos equipos no es muy grande, por el diseño de tubos y coraza del vaporizador y dependiendo de la carga que se requiera gasificar será necesario colocar más unidades, en comparación con un vaporizador de combustión sumergida es más costoso cuando las capacidades de vaporización son superiores a 80,000 m<sup>3</sup>/min.<sup>6</sup>

### Eficiencia

Ya que la fuente de calor está separada del intercambiador, la eficiencia disminuye por la pérdida de calor del agua por el trayecto, la eficiencia térmica aumenta cuando se requieren vaporizar cantidades alrededor de 6,000 m<sup>3</sup>/hr <sup>6</sup> debido a los tamaños y cantidades de agua q se pueden calentar.

<sup>6</sup> fuente Cryoquip

## CAPÍTULO 3. EVALUACIÓN TÉCNICA



Figura 23. Fotografía de vaporizador de baño de agua.

### **3.3 Vaporizadores de fluido intermedio con calentador a fuego directo**

#### Disponibilidad

No hay proveedores específicos de ésta tecnología.

#### Operación y mantenimiento

El sistema requiere de una mezcla de agua/etilenglicol, esta mezcla es con el fin de disminuir el potencial de congelamiento dentro de los equipos, aún así requiere de calentadores a fuego directo para calentar esta mezcla, estos calentadores requieren gas natural como combustible. En cuanto a requerimiento eléctrico es necesario para operar las bombas de recirculación de este fluido ya que de la caldera es enviada a los intercambiadores de calor y de estos nuevamente a la caldera, para operar el mezclador de agua/etilenglicol, y también los tanques de almacenamiento para el agua y el etilenglicol.

## CAPÍTULO 3. EVALUACIÓN TÉCNICA

### Seguridad

Hay fuente de ignición por la caldera utilizada. Por lo que en esta tecnología se aplica el mismo criterio que en la de combustión sumergida.

### Tamaño

La cantidad de intercambiadores de calor depende de cuanto GNL se requiera vaporizar y como este tipo de intercambiadores puede apilarse, la cantidad de espacio es menor en comparación con otros vaporizadores. Sin embargo, ya que requiere una fuente externa de calor este espacio ahorrado tiene que ser ocupado por los calentadores.

### Eficiencia

No existe información específica en cuanto a la eficiencia, pero puede considerarse similar a la del baño de agua, por la fuente de calor externa y el tipo de vaporizadores utilizados son muy similares la única diferencia es el fluido intermedio que usan.



Figura 24. Vaporizadores de fluido intermedio con calentador a fuego directo

## CAPÍTULO 3. EVALUACIÓN TÉCNICA

### **3.4 Vaporizadores Mustang Inteligente**

#### Disponibilidad.

Este tipo de tecnología es una patente y es una de las más recientes, por lo mismo no está probada comercialmente, la patente está desarrollada por Mustang Wood Group Company por lo tanto son los únicos que pueden proporcionar esta tecnología.

#### Mantenimiento y operación.

El sistema requiere de un fluido intermedio que puede ser propano, R-22 freón, envirocool o formiato de potasio (KF) con el fin de evitar el congelamiento en los equipos y tuberías. La energía eléctrica aquí es utilizada para los ventiladores de aire y las bombas de recirculación del fluido intermedio. El tipo de proceso proporciona agua que es la que se encuentra en el aire y es condensada por lo que se necesita un colector y un sistema de tratamiento para la utilización de ésta.

#### Seguridad

El sistema es considerado seguro ya que no hay fuente de ignición, sin embargo el fluido utilizado puede ser peligroso por las condiciones termodinámicas a las que se encuentra.

#### Tamaño

El tamaño es considerablemente grande debido al uso de calentadores de aire además de los intercambiadores de calor de fluido intermedio. Así como adición de sistemas de calor complementario si es que la demanda necesaria de gas no puede ser satisfecha.

## CAPÍTULO 3. EVALUACIÓN TÉCNICA

### Eficiencia

La eficiencia depende de las condiciones ambientales, esta tecnología es recomendable para lugares cálidos ya que a temperaturas bajas disminuye el rendimiento del sistema por el uso de aire en su fuente de calor y será necesario instalar un sistema de calefacción extra.

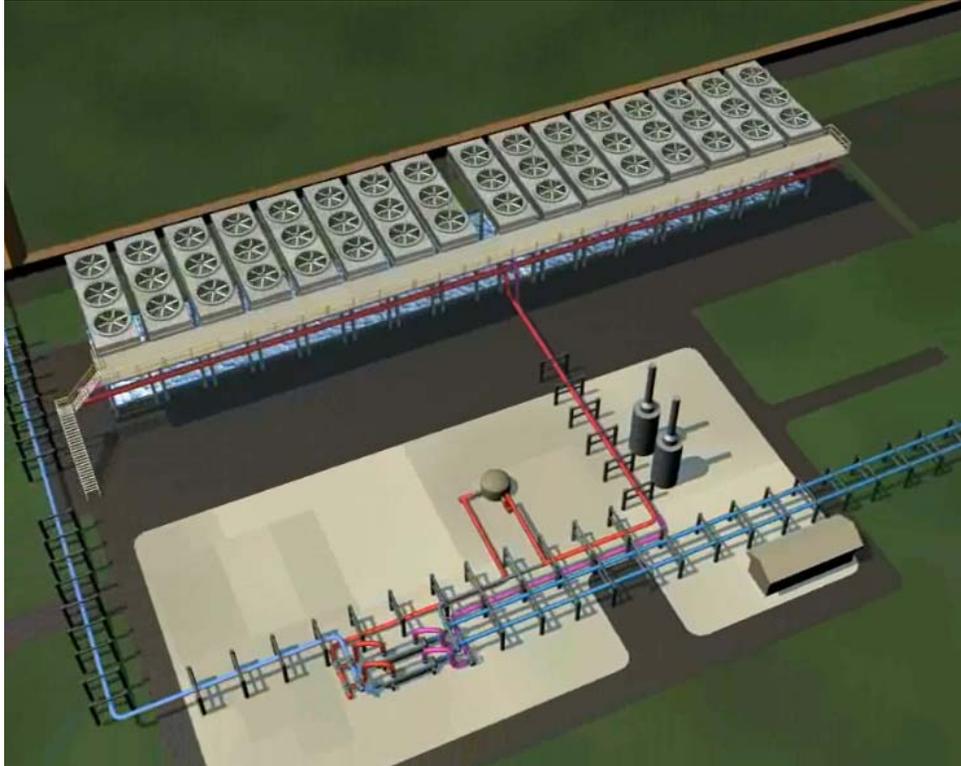


Figura 25. Tecnología de vaporizador Mustang inteligente

### **3.5 Vaporizadores utilizando Torres inversas de enfriamiento**

#### Disponibilidad

No existe ninguna terminal que utilice esta tecnología, comercialmente no hay quien la venda, solamente una terminal está en construcción Freeport LNG y se encuentra localizada en Texas y será puesta en marcha en el 2009.

## CAPÍTULO 3. EVALUACIÓN TÉCNICA

### Operación

Esta tecnología requiere torres de enfriamiento (en este caso de calentamiento), intercambiadores de calor de tubos y coraza para calentar el fluido intermedio y para vaporizar el GNL. La energía eléctrica es utilizada para operar bombas de recirculación de fluido intermedio y de agua, además de ventiladores de la Torre de enfriamiento. Para revertir la refrigeración de los equipos, el flujo de agua circulante requiere productos químicos para su tratamiento y adecuado manejo. Además de los equipos calentadores del fluido intermedio y los vaporizadores, son necesarios calentadores con uso de combustible para complementar la carga.

### Seguridad

El sistema es considerado seguro por no haber algún combustible utilizado como fuente de calor en la su operación normal, sin embargo es necesario hacer revisiones periódicas a la torre de enfriamiento debido a las incrustaciones que el agua pueda llegar a formar y con esto obstruir el sistema causando un posible daño mayor.

### Tamaño

Esta tecnología representa una importante demanda de espacio en cuanto a su infraestructura ya que además de los equipos de calentamiento del fluido intermedio, son necesarios los vaporizadores de tubos y coraza, además de equipos de calefacción complementaria por si se requiere de más carga térmica para vaporizar.

### Eficiencia

El sistema no es muy eficiente ya que el calor no puede ser aprovechado completamente, al haber pérdidas de energía en el transcurso de las fuentes de calor al vaporizador y depende

## CAPÍTULO 3. EVALUACIÓN TÉCNICA

considerablemente de las condiciones ambientales para llevar el calentamiento del agua.

### **3.6 Vaporizadores de rejilla abierta**

#### Disponibilidad

Es la tecnología de regasificación más utilizada a nivel mundial alrededor del 70% de los vaporizadores son de este tipo. Entre sus proveedores se encuentran Sumitomo Precisión Products y Kobelco.

#### Operación y mantenimiento

Su diseño mecánico y eléctrico es sencillo, son solamente paneles conductores de calor colocados verticalmente para permitir la caída de agua en forma de película a contracorriente con el GNL que fluye por el interior de los tubos. El sistema requiere de energía eléctrica suficiente para succionar agua de mar y elevarla a la parte superior de los paneles para dejarla caer. También es necesario un sistema de tratamiento para el agua de mar adicionando un biocida, con el fin de evitar la entrada de vida marina al sistema, y evitar así incrustaciones en los equipos. La fuente de calor es barata ya que es agua de mar. El biocida es típicamente hipoclorito de sodio que puede ser inyectado continuamente para mantener una concentración aproximada de 0.2ppm. El mantenimiento debe ser periódico ya que la baja temperatura del GNL hace que se forme hielo en la superficie de los paneles y estos deben ser limpiados.

#### Seguridad

En cuanto a la seguridad se consideran varios aspectos como son la vida marina por lo que la succión de la bomba de agua de mar se realiza con una velocidad reducida para incrementar el diámetro de la toma y permitir a los organismos grandes nadar fuera de ella y evitar lesiones. Por otro lado, los grandes volúmenes reducen el

## CAPÍTULO 3. EVALUACIÓN TÉCNICA

enfriamiento de agua de mar, lo cuál reduce los impactos en la descarga. Además, se toma en cuenta también la geometría, localización, orientación y protección (a través de unas mallas) con el fin de minimizar la entrada de pequeños organismos marinos, como huevecillos, larvas y especies pequeñas.

El sistema es seguro ya que no hay partes móviles y no existe fuente de ignición ya que no utiliza combustible como fuente de calor.

### Tamaño

El tamaño de la terminal es considerable ya que deben dejarse caer por los paneles grandes cantidades de agua de mar. Además deben tomarse en cuenta la capacidad de sus estructuras de apoyo, así como la estructura interna del equipo de agua de mar, las bombas, paquete de electrocloración y el sistema de tratamiento del agua de mar.

### Eficiencia

La caída de agua de mar en forma de película permite que el sistema tenga un alto rendimiento, así como estabilidad en el mecanismo de transferencia de calor. El sistema presenta estabilidad en el mecanismo de transferencia de calor debido a la caída de agua en forma de película. El panel que está compuesto de una aleación de aluminio permite que tenga buenas características mecánicas a bajas temperaturas, excelente manejabilidad y alta conductividad térmica.

## CAPÍTULO 3. EVALUACIÓN TÉCNICA

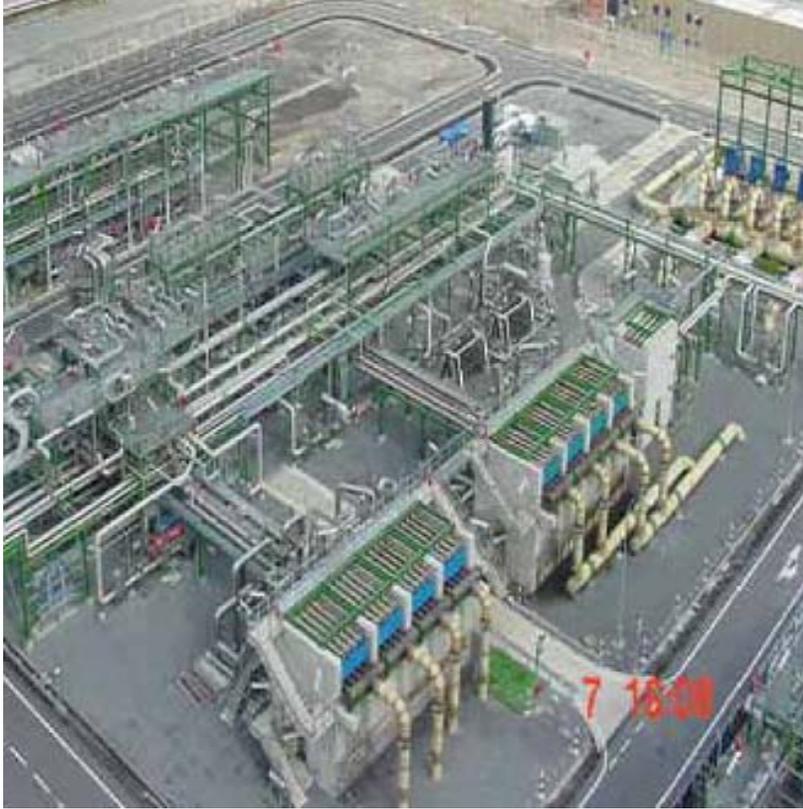


Figura 27. Fotografía de vaporizadores de rejilla abierta

### **3.7 Vaporizadores de tubos y coraza**

#### Disponibilidad

Como proveedor de esta tecnología se encuentra Chicago Power & Process Inc. con un diseño especial de intercambiadores de calor. Este diseño es utilizado por alrededor de 60% de los vaporizadores que utilizan este tipo de tecnología.

## CAPÍTULO 3. EVALUACIÓN TÉCNICA

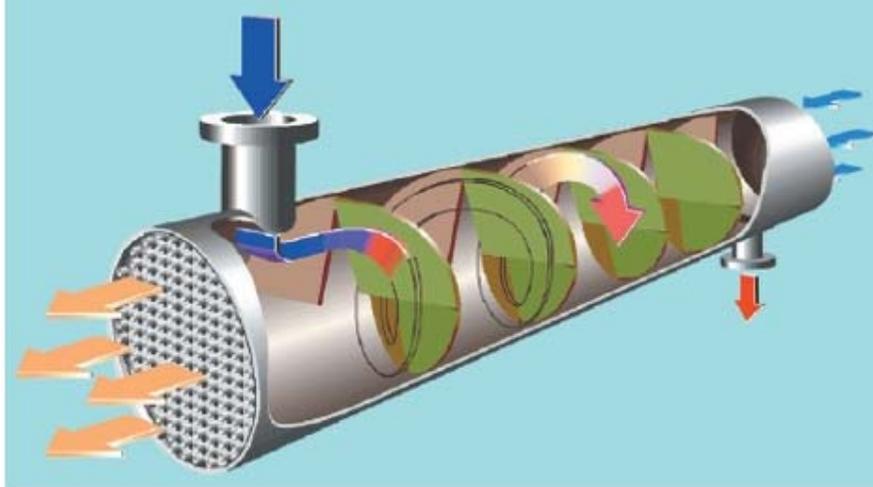


Figura 28. Tecnología de Chicago power en vaporizadores de tubos y coraza

### Operación y Mantenimiento

Su operación requiere de grandes cantidades de carga eléctrica para succionar agua de mar, además de mantener un flujo estable para evitar el congelamiento de los equipos, es necesaria la instalación de un sistema de tratamiento de agua para evitar corrosión e incrustaciones en los equipos. Son necesarias grandes cantidades de agua en la parte fría a todos los tiempos. En la parte caliente puede ser reducida al 50% para conservar los caballos de fuerza de la bomba. Deben ser enjuagados y completamente drenados cuando no estén en servicio.

### Seguridad

El sistema es seguro, las partes móviles son mínimas y no hay fuente de ignición, pero es necesario tener en consideración un posible incrustamiento en la tubería provocando aumentos de presión dentro de los tubos y por lo tanto riesgo mayor.

## CAPÍTULO 3. EVALUACIÓN TÉCNICA

### Tamaño

El espacio es considerable y depende de la cantidad de carga a vaporizar, además que al igual que los intercambiadores de calor de baño de agua pueden apilarse y el espacio ahorrado no debe ser ocupado por calentadores adicionales.

### Eficiencia

La eficiencia puede considerarse similar a la de rejilla abierta, sin embargo el peligro latente de congelamiento es mayor con por lo que puede disminuir su eficiencia en el momento que el flujo de agua disminuya debido a una incrustación.



Figura 29. Fotografía de la coraza y tubos de un vaporizador

### **3.8 Vaporizadores de aire del ambiente**

#### Disponibilidad

Esta tecnología ha sido probada solamente con algunos fluidos criogénicos como nitrógeno y a pequeñas escalas, no para grandes unidades comerciales como el GNL. Dentro de los proveedores se encuentran Thermax y Cryoquip. Normalmente este tipo de

## CAPÍTULO 3. EVALUACIÓN TÉCNICA

vaporizador es considerado para pequeñas plantas con capacidades no mayores a 0.5 billones de m<sup>3</sup> al año.<sup>7</sup>

### Operación y mantenimiento

La operación es muy sencilla ya que consta del paso de aire ambiente a través de unos paneles conductores de calor en forma vertical, donde pasa el GNL a través de unos tubos con aletas por convección natural o forzada, si se aplica la convección forzada se necesitará entonces energía eléctrica para operar los ventiladores que crean este tipo de convección. Y se requieren de colectores de agua en la parte inferior de los vaporizadores ya que el agua condensada se acumula en estos, esta agua incluso llega a convertirse en hielo y se queda en la superficie de los paneles lo cual hace que estos dejen de operar para ser limpiados, esto requiere de unidades adicionales, y si la carga no llega a completarse por la temperatura de aire serán necesarios calentadores adicionales, lo que hace que la operación sea más compleja, si la operación se lleva a cabo por convección natural es muy posible que exista la formación de un banco de niebla. El diseño de éste sistema debe tomar en cuenta para la adecuada capacidad de vaporización y la disponibilidad durante todo el año; el tiempo de inactividad de un subconjunto de la unidad para eliminar la nieve.

### Seguridad

Esta tecnología es considerada segura, por que no hay fuente de ignición y no hay partes movibles. El único a riesgo a considerar es la formación de un banco de niebla y las bajas temperaturas debido a la formación de hielo en los vaporizadores.

<sup>7</sup> Fuente infrastructure journal

## CAPÍTULO 3. EVALUACIÓN TÉCNICA

### Tamaño

El diseño de éste sistema debe tomar un cuenta gran cantidad de espacio, estos paneles son muy grandes para permitir el paso de gran cantidad de aire, si el equipo es de tiro forzado este espacio puede ser reducido, ya que si el sistema incluye ventiladores de aire; el paso de aire por estos es 1.7 veces más que los de convección natural.

### Eficiencia

La eficiencia es altamente dependiente de las condiciones ambientales, al inicio de la operación la temperatura del aire es casi igual a la temperatura de salida pero a medida que pasa el tiempo los equipos van congelándose reduciendo así la transferencia de calor y por lo tanto la eficiencia.



Figura 30. Fotografía de vaporizadores de aire

## CAPÍTULO 3. EVALUACIÓN TÉCNICA

### **3.9 Vaporizadores de fluido intermedio**

#### Disponibilidad

Esta tecnología es proporcionada por Kobelco, Black & Veatch y otros y está probada, sin embargo no es muy utilizada.

#### Operación y mantenimiento

La operación requiere de grandes cantidades de carga eléctrica para la succión de agua de mar que es utilizada como fuente de calentamiento, además de un fluido intermedio que puede ser propano, isobutano, freon, NH<sub>3</sub>) como refrigerante con el fin de evitar el congelamiento ya que el GNL no esta en contacto directo con agua de mar como con los vaporizadores de rejilla abierta o los de tubos y coraza. El mantenimiento es periódico con la limpieza en el interior de los equipos. Se requiere de un sistema de tratamiento de agua de mar.

#### Seguridad

Puede considerarse seguro ya que no hay potencial de congelamiento por el fluido refrigerante, sin embargo ya que este fluido es propano es inflamable, pero como no hay algún combustible como fuente de calor el riesgo es reducido.

#### Tamaño

El tamaño no es muy grande ya que tanto el refrigerante como el agua de calentamiento están dentro de una misma coraza.

#### Eficiencia

El sistema puede considerarse eficiente ya que el fluido intermedio no debe pasar por algún otro intercambiador de calor sino que el calor es aprovechado dentro del mismo sistema.

## CAPÍTULO 3. EVALUACIÓN TÉCNICA

### **3.10 Vaporizadores Termosifón con fluido intermedio**

#### Disponibilidad

Esta tecnología no cuenta con un vendedor específico, por lo cual hay precios competitivos. Entre los proveedores se puede encontrar a Black & Veatch.

#### Operación y mantenimiento

La vaporización se lleva a cabo mediante el efecto Termosifón, el sistema requiere de agua de mar como fuente de calor, además de un fluido intermedio como medio de vaporización de GNL típicamente propano. Es necesaria gran carga eléctrica para operar las bombas de succión de agua de mar. Por este proceso el riesgo de congelamiento de los equipos es eliminado. Los intercambiadores de calor son de placas pero el que calienta el fluido intermedio puede ser también de tubos y coraza.

#### Eficiencia

No hay partes móviles ni mecánicas ya que el efecto crea una circulación natural, por lo tanto esta tecnología puede considerarse segura además de que no hay fuente de ignición.

#### Tamaño

La tecnología en este tipo de equipos no es de gran tamaño en comparación con las otras por lo mismo su capacidad de vaporización también es menor.

#### Eficiencia

No existe información en cuanto a la eficiencia pero puede considerarse no muy eficiente por la manera en que se lleva a cabo el calentamiento ya que la fuente de calor primaria no tiene contacto

## CAPÍTULO 3. EVALUACIÓN TÉCNICA

directo con el GNL, por lo cual es muy importante seleccionar el adecuado fluido intermedio.

### **3.11 Vaporizadores integrando aire ambiente con un sistema de recuperación de calor de residuos**

#### Disponibilidad

No existen proveedores específicos ya que es una tecnología prácticamente nueva, pero existe una patente pendiente con Black & Veatch, quien puede proveer algo del diseño, así como Albeit, pero aún no existe algo comercial.

#### Operación y mantenimiento

La operación de ésta tecnología es compleja ya que utiliza dos fuentes de calentamiento, que requieren de energía eléctrica para hacer funcionar ventiladores y bombas de recirculación de agua. Para operar la turbina es necesario un combustible que, en este caso es gas natural. Para aprovechar el calor se utiliza una columna Quench y una unidad de recuperación de residuos de calor. Ya que es una tecnología nueva no hay información respecto al mantenimiento y en cuanto a los vaporizadores de aire aunque el mantenimiento es similar puede diferir en algunas cosas ya que aquí sólo son utilizados como precalentadores, para cumplir con la carga total de vaporización se utilizan los gases de combustión de la turbina. El sistema debe considerar controladores de emisiones con el fin de cumplir con las regulaciones ambientales.

#### Seguridad

En cuanto a la seguridad en el sistema hay fuente de ignición debido al gas utilizado para la turbina, pero en cuanto a lo demás puede considerarse no peligroso.

## CAPÍTULO 3. EVALUACIÓN TÉCNICA

### Tamaño

El tamaño es considerable por la cantidad de equipos utilizados, tenemos los vaporizadores de aire que por sí mismos ya utilizan mucho espacio, el equipo de generación de energía eléctrica, la columna Quench, el sistema de recuperación de calor, y el intercambiador de calor de GNL.

### Eficiencia

Estos equipos gracias a su columna recuperan gran cantidad de calor, de tal manera que el agua en los gases de combustión es condensada. La columna Quench con un conducto del quemador adicional puede suplir hasta 50% del calor total requerido.

### **3.12 Vaporizadores integrando combustión sumergida con un sistema de recuperación de calor de residuos**

### Disponibilidad

Al igual que la tecnología anterior, la incorporación del sistema de recuperación de calor es proporcionado por Black & Veatch.

### Operación y mantenimiento

La operación consiste en el precalentamiento del agua que será utilizada en el baño de los vaporizadores de combustión sumergida evitando así el uso de combustible del quemador o minimizándolo. Se requiere electricidad para operar los sopladores en el baño de agua así como para la recirculación de esta al sistema donde recupera el calor de los gases de combustión. Dependiendo de la carga esta tecnología puede operar sólo con los gases de combustión del quemador integrado dentro del baño de agua, sólo con los gases de combustión de la turbina generadora de energía o con ambas fuentes de calor encendidas. La flotabilidad de los gases de combustión será pobre y tienden a permanecer a nivel del suelo cuando la

## CAPÍTULO 3. EVALUACIÓN TÉCNICA

temperatura de combustión es disminuida, así la temperatura de combustión debe tender hacia arriba de la temperatura ambiente para asegurar el aprovechamiento del calor.

El mantenimiento se lleva a cabo igual que los vaporizadores de combustión sumergida considerando ahora el sistema de generación de electricidad.

### Seguridad

EL sistema tiene ahora dos fuentes de ignición, la del quemador integrado y la de la turbina generadora de energía así que es considerada una tecnología no muy segura.

### Tamaño

Requiere espacio adicional por la integración de la turbina generadora de energía, así que este espacio es considerable.

### Eficiencia

El sistema aprovecha los gases de combustión de la turbina como una fuente de calor extra por lo cual se considera una tecnología con un intercambio de calor aceptable.

## CAPÍTULO 3. EVALUACIÓN TÉCNICA

### TABLA COMPARATIVA DE TECNOLOGIAS

Una vez teniendo presente los criterios que identifican a cada tecnología se realizó una tabla en la cual se muestra un número de acuerdo con qué tanto cumple con los requerimientos cada tecnología, tomando en consideración una escala que se define a continuación:

Calificación	
1	Pésimo
2	Muy malo
3	Malo
4	Deficiente
5	Regular
6	Aceptable
7	Satisfactorio
8	Bueno
9	Muy bueno
10	Excelente

Tabla 2. Valores de evaluación.

### CAPÍTULO 3. EVALUACIÓN TÉCNICA

Evaluación técnica					
	Eficiencia	Operación y mantenimiento	Disponibilidad de equipo	Seguridad	Tamaño
Combustión Sumergida	9	8	10	6	8
Baño de agua	6	6	4	6	3
Fluido intermedio con calentador a fuego directo	7	6	4	6	3
Mustang Inteligente	8	8	3	8	5
Utilizando Torres Inversas de enfriamiento	6	5	3	7	5
Rejilla Abierta	8	9	10	9	8
Tubos y coraza	7	7	8	8	7
Aire directo de ambiente	6	7	7	8	4
Fluido intermedio	7	7	7	7	4
Termosifón con fluido intermedio	6	6	7	7	4
Integrando aire con un sistema de recuperación de calor de residuos	7	7	7	7	5
Integrando combustión sumergida con un sistema de recuperación de calor de residuos	9	8	9	5	8

Tabla 2. Calificación para el tipo de tecnología de vaporización

# CAPÍTULO 4

## EVALUACIÓN AMBIENTAL

## CAPÍTULO 4. EVALUACIÓN AMBIENTAL

En este capítulo analizaremos el impacto ambiental de cada una de las tecnologías, teniendo como principales parámetros las emisiones al aire, y los efluentes al agua, la ubicación y la normatividad que deben cumplir para poder ser instaladas en una terminal de regasificación por lo que se separarán las diferentes tecnologías en las que tiene un impacto directo con el agua y en los que tienen mayor impacto con el aire.

### **Emisiones al aire.**

Estas principalmente comprenden los compuestos generados por la combustión del gas natural cuando se usa como combustible llegando a provocar efectos ambientales indeseables, deterioros en la salud de los trabajadores y en los mismos equipos.

### **Efluentes al agua.**

En una terminal de regasificación se tiene que considerar la calidad de agua que es devuelta al mar ya que esta puede variar en su composición por su combinación con fluidos refrigerantes o en la temperatura por el hecho de que el agua llega a tener contacto con el GNL que está por debajo de cero y por lo mismo estas características pueden llegar a afectar la vida marina.

Asimismo las tecnologías que utilizan agua de mar como medio de calentamiento se analizan de acuerdo con la cantidad utilizada, ya que este uso es considerado dependiendo de si se utiliza una mezcla de agua con algún fluido intermedio o es recirculada, además del tratamiento que requiere y su forma de obtención.

También se analizan los fluidos intermedios utilizados y en qué forma afectan en la utilización del equipo vaporizador.

## CAPÍTULO 4. EVALUACIÓN AMBIENTAL

### **Ubicación y Normatividad.**

Este es un punto que principalmente se enfoca en la terminal de regasificación en su totalidad, ya que esta debe cumplir con los criterios establecidos para su construcción y operación de acuerdo con las normas establecidas como son la NFPA 59A y la NOM-013-SECRE-2004 principalmente.

#### **4.1.1. VAPORIZADORES QUE UTILIZAN AGUA DE MAR COMO FUENTE DE CALOR**

En esta clasificación se encuentran los vaporizadores que ocupan agua de mar directamente en contacto con el GNL, que son los siguientes:

- Vaporizadores de rejilla abierta
- Vaporizadores de tubos y coraza

Debido a que los sistemas de vaporización requieren de grandes flujos de agua, se necesitan dos líneas de succión con diámetros muy grandes y una línea de descarga. Estas líneas pueden ser de 5-7 pies de diámetro, lo que causa impacto ambiental en cuanto a la remoción de vida marina (como plancton) para la construcción de tuberías. También en su funcionamiento se ve relacionado en cuestiones ambientales, ya que al momento de descargar el agua al mar, esta puede ocasionar un cambio de la temperatura en el lugar de la descarga que afecta directamente el hábitat de los animales del lugar. Se recomienda que la descarga se haga distancias suficientemente alejadas con el fin de evitar el daño a estos ecosistemas en lo más mínimo o se realizan programas de reubicación de la vida marina para que esta no sea deteriorada.

Además ya que el agua es clorada con el fin de evitar incrustaciones en los equipos, el retorno de agua al mar puede

## CAPÍTULO 4. EVALUACIÓN AMBIENTAL

contener de 1 a 2 ppm de hipoclorito. La cloración de agua se lleva a cabo típicamente con hipoclorito de sodio que se inyecta continuamente para mantener una concentración de 0.2 ppm, sin embargo en ocasiones esta concentración es elevada a concentraciones de 2.0 ppm que son inyectados por 20 minutos cada 8 horas durante la operación. La posibilidad de la toma de vida marina se aborda considerando las velocidades en el flujo de la succión, así tenemos, primero, que la velocidad es reducida para incrementar el diámetro de la toma, estas velocidades inferiores dan oportunidad a los organismos marinos más grandes nadar fuera de la toma y evitar así que se les provoquen lesiones.

Los vaporizadores que requieren agua de mar para operar, son los vaporizadores de rejilla abierta que en su forma de utilizar el agua que cae en forma de película, no se ve muy afectado si los flujos llegan a ser modificados, sin embargo los vaporizadores de tubos y coraza necesitan grandes flujos y el sistema es muy sensible a estos por lo que en este caso habría un impacto aún mayor ya que el flujo de succión sería grande y por lo tanto posible que afecte la vida marina, sin embargo la descarga sería con una temperatura menor.

## CAPÍTULO 4. EVALUACIÓN AMBIENTAL



Figura 31. Agua de proceso en un vaporizador que utiliza agua como fuente primaria de calor

### **4.1.2 VAPORIZADORES QUE OCUPAN AGUA DE MAR INCORPORANDO UN FLUIDO INTERMEDIO COMO REFRIGERANTE.**

Los vaporizadores que utilizan agua de mar pero que en su diseño incorporan un fluido intermedio pueden disminuir sus flujos de agua sin embargo sigue habiendo contaminación al mar por el biocida agregado (cloro) y la baja temperatura a la cual se descarga al mar, ya que el fluido intermedio es utilizado solamente para evitar el congelamiento de los equipos, estos son:

- Vaporizadores de fluido intermedio.
- Vaporizadores Termosifón con fluido intermedio.

Ambos usan típicamente propano como refrigerante. Los vaporizadores que su fluido intermedio como fuente de calor es una mezcla de agua/etilenglicol la cual por lo general está compuesta en una proporción de 40/60, no afectan al ambiente ya que la mezcla es

## CAPÍTULO 4. EVALUACIÓN AMBIENTAL

recirculada y no se desecha. El fluido se vaporiza y se regenera lo único que cambia es la fuente de calor para calentar o enfriar según sea el caso. En esta categoría se encuentran

- Vaporizadores de fluido intermedio con calentador a fuego directo.
- Vaporizadores Mustang inteligente.
- Vaporizadores utilizando torres inversas de enfriamiento.

### **4.2 VAPORIZADORES QUE UTILIZAN COMBUSTIBLE COMO FUENTE DE CALOR.**

Las tecnologías que utilizan combustible como fuente de calor externa usan el mismo gas natural del que es vaporizado en la planta entre estas tecnologías encontramos:

- Vaporizadores de combustión sumergida.
- Vaporizador de baño de agua.
- Vaporizador de fluido intermedio con calentador a fuego directo.

El gas natural por sí mismo es el combustible fósil con menor impacto ambiental ya que los productos de su combustión son en una proporción menor que otros combustibles, así la misma pureza de este combustible lo hace apropiado para su uso en generación de electricidad por ciclos combinados o de cogeneración.

Los productos de combustión del gas natural son  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ , y algunas partículas sólidas.

Con el fin de reducir estas emisiones se puede añadir un sistema catalizador, este puede ser una unidad de reactor catalítico selector (SCR: Selective Catalytic Reactor Unit), el uso de este catalizador es susceptible de envenenamiento catalítico debido a las sales de sodio y potasio formadas por la neutralización del agua, estos contaminantes pueden reducir la actividad catalítica original y

## CAPÍTULO 4. EVALUACIÓN AMBIENTAL

así reducir su efectividad. También los vaporizadores de baño de agua y de fluido intermedio utilizan combustible pero la forma de calentar el fluido de transferencia de calor es mediante calderas, aún así pueden ser incorporados controladores para reducir estas emisiones.

### **4.3 VAPORIZADORES QUE UTILIZAN AIRE AMBIENTE COMO FUENTE DE CALOR**

Este sistema sólo genera aire frío como efluente y debido a la baja temperatura del GNL, el agua contenida en el aire es condensada, esta es recolectada y está limpia así que no requiere de ningún tratamiento significativo y ambientalmente llega a ser beneficioso. Lo que puede causar, pero no crea contaminación, es niebla en los alrededores por el frío. Esto depende de la humedad y de la temperatura del aire, pero esto se controla con ventiladores para impulsar el aire. Una de las desventajas que presenta esta tecnología es que como el sistema es muy dependiente de las condiciones ambientales y esta sólo ha sido probada a pequeñas escalas, el sistema requiere de un sistema adicional de calor para cumplir con el total requerido para vaporizar el GNL y este sistema está dado por calentadores que utilizan combustible así que el sistema presenta emisiones a la atmósfera.

### **4.4 VAPORIZADORES QUE INTEGRAN EL USO DE COMBUSTIBLE CON ALGUNA OTRA FUENTE DE CALOR**

Uno de estos sistemas es el que integra aire ambiente con un sistema de recuperación de calor de residuos. Las cuestiones ambientales implican agua fría como efluente, para evitar que este frío afecte al personal de operación pueden usarse pantallas térmicas y otros componentes para minimizar el impacto en el entorno local. Puede hacerse un análisis del aire para cuantificar los efectos. La condensación de los productos de combustión en la columna de

## CAPÍTULO 4. EVALUACIÓN AMBIENTAL

recuperación de calor crea ácidos (nitroso, carbónico, nítrico, etc.), por lo que se inyectan sustancias químicas con el fin de controlar el pH y como subproductos tenemos sales que deben ser eliminadas. Este exceso de agua puede tener un impacto en función de las condiciones que son aceptadas en el medio marino local. El agua condensada puede ser utilizada para enfriar el aire de las turbinas para maximizar la potencia de la salida. El generador de energía eléctrica produce emisiones a la atmósfera.

En el caso del vaporizador sumergido integrado con un sistema de recuperación de calor de residuos, existen emisiones por el combustible utilizado tanto en el quemador del vaporizador como en la turbina generadora de electricidad. Se debe dar tratamiento al baño de agua con sustancias alcalinas para mantener el pH.

De igual manera que en el capítulo 3 se realizó una tabla donde se califican las características de cada tecnología, en éste capítulo se realiza una tabla tomando en cuenta esos valores calificadores para evaluar cada tecnología de acuerdo a su impacto ambiental.

## CAPÍTULO 4. EVALUACIÓN AMBIENTAL

### 4.5 TABLA COMPARATIVA DE TECNOLOGÍAS

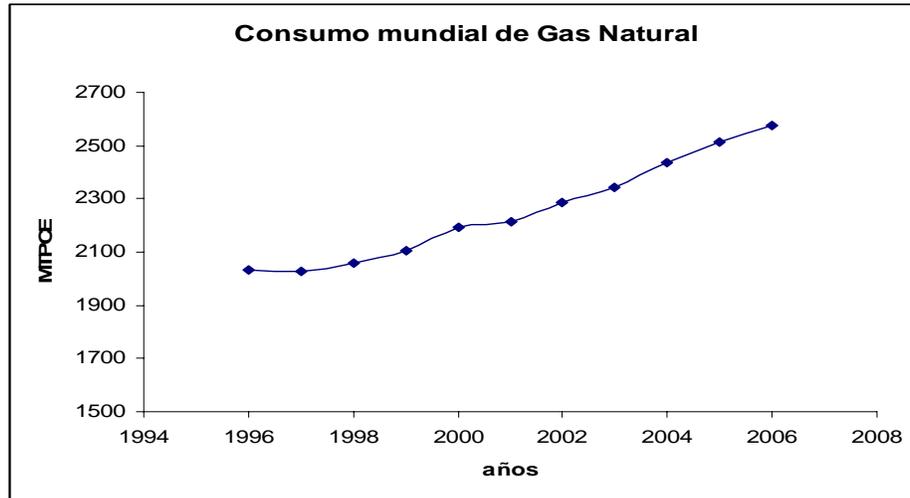
	Emisiones al aire	Efluentes al agua
Combustión Sumergida	4	6
Baño de agua	3	8
Fluido intermedio con calentador a fuego directo	3	8
Mustang Inteligente	7	9
Utilizando Torres Inversas de enfriamiento	7	8
Rejilla Abierta	10	3
Tubos y coraza	10	3
Aire directo de ambiente	9	10
Fluido intermedio	9	4
Termosifón con fluido intermedio	9	4
Integrando aire con un sistema de recuperación de calor de residuos	5	8
Integrando combustión sumergida con un sistema de recuperación de calor de residuos	3	6

Tabla 3. Calificación para los sistemas de vaporización en la cuestión ambiental

CAPÍTULO 5  
PLANTAS DE  
REGASIFICACIÓN

## CAPÍTULO 5. PLANTAS DE REGASIFICACIÓN

A nivel mundial la demanda del gas natural ha ido en aumento y con esto el interés por los países en invertir en nuevos proyectos como son las plantas de regasificación y almacenamiento. En la siguiente gráfica se muestra el aumento del consumo de este hidrocarburo en los últimos años a nivel mundial.



Gráfica 2. Demanda de gas natural en los últimos años <sup>8</sup>

En el presente capítulo se hace un resumen de las plantas existentes como los proyectos que se encuentran en puerta a lo largo de el globo, estos proyectos tiene como fin poder cubrir la demanda de gas natural en la actualidad y en lo próximos años.

<sup>8</sup> Fuente prospectiva del mercado de gas natural 2007-2017

## CAPÍTULO 5. PLANTAS DE REGASIFICACIÓN

### Plantas de regasificación en Europa

Situación	Nombre	Arranque	Ubicación	Capacidad <sup>9</sup>	Inversion	Operador	Proveedor
Activa <sup>10</sup>	Zeebrugge	1987	Belgica	4.5	US\$367.58 millones	fluxys, Exxon Mobil	Sonatrch, Qatar Gas, Ras Gas II
construcción	Zeebrugge	2007	Belgica	4.5	no disponible	fluxys, Exxon Mobil	Sonatrch, Qatar Gas, Ras Gas II
activa	Fos -Sur – Mer	1972	Francia	4.5	no disponible	Gaz de France	Algeria
activa	Montoir De Bretagne	1982	Francia	10	no disponible	Gaz de France	Nigeria , Algeria
construcción	Foss II	2006	Francia	8.25	US\$476.4 millones	Gaz de France	Egipto(Idku)
Activa <sup>11</sup>	Revithoussa	1999	Grecia	2.6	no disponible	DEPA Greek Public Gas Company	Algeria
construcción	Revithoussa	2007	Grecia	1.9	no disponible	DEPA Greek Public Gas Company	Algeria
activa	Panigaglia	1971	Italia	3.7	no disponible	GNL Italia	Algeria y Nigeria
construcción	Isola Di Porto	2007	Italia	8	US\$ 1.05 Billón	Ediso, Exxon Mobil	Qatar
planeada	Brindisi	2008	Italia	8	US\$480 millones	BG, Group , Enel	Idku II
planeada	Vada LNG	2008	Italia	4.1	US\$250 millones	Edison /BP	Pendiente
planeada	Livorno	2008	Italia	2.7	US\$350 millones	Cross Energy	Pendiente
planeada	Siracusa	2010	Italia	8	US\$520 millones	Shell, ERG Power and gas	Pendiente

## CAPÍTULO 5. PLANTAS DE REGASIFICACIÓN

Activa <sup>12</sup>	Sines	2003	Portugal	4.1	US\$363 millones	Galp	Nigeria , Algeria, Qatar
activa	Barcelona	1969	España	11	no disponible	Enagas	norte de África
activa	Huelva	1968	España	4	no disponible	Enagas	norte de África
activa	Cartagena	1989	España	4	US\$1386 millones	Enagas	Trinidad y Tobago
construcción	Cartagena	2005	España	3.9		No disponible	No disponible
construcción	Cartagena	2006	España	2.6		No disponible	No disponible
activa	Bilbao	2003	España	4	US\$564 Millones	Bahía de Bizkaia gas	Adgas, Point Fortin
construcción	El Ferrol	2006	España	3.6	US\$200 millones	Renagosa(Unión Fenosa)	Algeria
activa	Sagunto	2006	España	6.6	US\$440 millones	Saggas LNG , Fenosa	Damietta
activa	Maramara Ereglesi	1994	Turkia	5.1	no disponible	Botas	Algeria, Nigeria
activa	Aliagali	2002	Turkia	6	no disponible	Egegaz	No disponible
construcción	Isle Of Grain	2006	UK	4.5	US\$280 millones	National Grid Transco	Argelia
construcción	South Hook	2007	UK	10.2	US\$ 1.1 billones	Exxon Mobil. Qatar Petroleum	Qatar Gas
planeada	South Hook	2009	UK	10.2			
construcción	Dragon	2007	UK	6	US\$350 millones	No disponible	No disponible

## CAPÍTULO 5. PLANTAS DE REGASIFICACIÓN

planeada	Anglesey	2009	UK	20	US\$350 millones	Canatxx	Merchant
----------	----------	------	----	----	------------------	---------	----------



<sup>10</sup>planta de Zeebrugge



<sup>11</sup>Planta Revithoussa



<sup>12</sup> Planta Sines

<sup>9</sup> las unidades de la capacidad están en billones de metros cúbico por año.

## CAPÍTULO 5. PLANTAS DE REGASIFICACIÓN

### Plantas de regasificación en Asia

Situación	Nombre	Arranque	Ubicación	Capacidad <sup>9</sup>	Inversion	Operador	Proveedor
construcción	Guangdong	2005	China	5.1	US\$880 millones	CNOOC, BP	NWS Ing
construcción	Guangdong	2008	China	3.6			
construcción	Fujian	2007	China	3.6	US\$820 millones	CNOOC, BP	Tangguh LNG
planeada	Fujian	2010	China	3.6			
planeada	Ningbo	2008	China	4.1	US\$520 millones	CNOOC, BP	Australia
planeada	Qingdao	2008	China	4.1	US\$550 millones	Sinopex	Indonesia
planeada	Shanghai	2008	China	4.1	US\$ 570 millones	CNOOC, BP	Pendiente
activa	Dahej	2003	India	6.9	US\$ 826 millones	Petronet LNG	Ras Gas
activa	Hazira	2005	India	3.5	US\$ 709 millones	Shell	TBA
construcción	Dabhol	2006	India	3.1	US\$230 millones	Gail/NTPC	Australia
planeada	Kochi	2009	India	3.6	US\$ 460 millones	Petronet LNG	no disponible
Activa <sup>15</sup>	Kawagoe	1997	Japón	10.6	no disponible	chubu electric	NWS , Qatar gas
activa	Yokkaichi Works	1991	Japón	0.9	no disponible		
Activa <sup>13</sup>	Chita	1993	Japón	16.5	no disponible	Chubu Electric	Qatar Gas, NWS
activa	Chita Kyodo	1997	Japón	11	no disponible	Toho Gas	

## CAPÍTULO 5. PLANTAS DE REGASIFICACIÓN

activa	Yanai	1990	Japón	3.3	no disponible	Chugoku Electric	Qatar Gas, NWS
Activa <sup>14</sup>	Hatsukaichi	1996	Japón	0.5	no disponible	Hiroshima gas	Bontang
activa	Kagoshima	1996	Japón	0.2	no disponible	Kagoshima Gas	Kagoshima
activa	Ohita	1990	Japón	7	no disponible	Kyushu Electric	Bontang Nws
activa	Tobata	1997	Japón	8.8	no disponible	Kyushu Electric	Bontang Nws
activa	Sendoku I	1972	Japón	3.3	no disponible	Osaka Gas	Brunei
activa	Sendoku II	1977	Japón	18	no disponible	Osaka Gas	Qatar Gas, NWS
activa	Himeji	1979	Japón	11.4	no disponible	Osaka Gas	Oman LNG, QatarGas
activa	Himeji Joint	1984	Japón	5.5	no disponible	Osaka Gas	Bontang NWS
activa	Fukuoka	1993	Japón	0.9	no disponible	Saibu Gas	MLNG
activa	Nagasaki	2003	Japón	0.1	no disponible	Saibu Gas	MLNG
activa	shin- Minato	1997	Japón	11	no disponible	sendai gas	MLNG
activa	Sodeshi	1997	Japón	8.8	no disponible	Shizuoka	MLNG
activa	Futtsu	1985	Japón	22	no disponible	Tokio Electric	Adgas Brunei LNG
activa	Higashi	1984	Japón	20.2	no disponible	Tokio Electric	Adgas Brunei LNG
activa	Sodergaura	1973	Japón	38.2	no	tokio Electric tokio gas	Kenai,

## CAPÍTULO 5. PLANTAS DE REGASIFICACIÓN

					disponible		Bontang
activa	Negishi	1969	Japón	18.7	no disponible	tokio Electric tokio gas	Kenai, Bontang
activa	Ohgishim a	1998	Japón	7	no disponible	tokio gas	Bontang MLNG
activa	Chita	2001	Japón	No disponible	no disponible	Toho Gas	Bontang MLNG
activa	Yokkaichi	1987	Japón	12.1	no disponible	Toho Gas	Bontang MLNG
activa	Higashi nigata	1984	Japón	23.5	no disponible	Thoku electric	Qatar Gas, NWS
construccion	Mizushima	2006	Japón	0.6	no disponible	Chungoku Electric	Omaan LNG
planeada	Sakai	2010	Japón	3.7	no disponible	Kansai Electric	No disponible
planeada	Bataan	2008	Philippines	1.9	no disponible	GN Power	Indonesia
activa	Pyongtack	1986	Korea del sur	18.3	no disponible	Kogas	Arun, Bontang MLNG
activa	Incheon	1996	Korea del sur	30.8	no disponible	Kogas	Brunei
activa	Tongyeong	2002	Korea del sur	6.9	no disponible	Kogas	Oman, Ras Gas
construccion	Kwangyang	2005	Korea del sur	2.3	US\$ 520 millones	Mitsubishi	Tangguh LNG
activa	Young An	1990	Taiwan	10.2		CPC	Ras Gas, Bontang

## CAPÍTULO 5. PLANTAS DE REGASIFICACIÓN



<sup>13</sup> Terminal de Chita



<sup>14</sup> Terminal Hatsukaichi.



<sup>15</sup> Kawagoe

### PLANTAS DE REGASIFICACION EN AMERICA

planeada	Bear Head LNG	2009	Canadá	10.2	no disponible	Anadarko	no disponible
planeada	St. John Canaport	2009	Canadá	15.3	no disponible	Irving Oil Repsol	Repsol Algeria
activa	Andres LNG	2003	Republica dominicana	2.7	US\$468 millones	no disponible	no disponible
activa	Altamira	2007	México	8.3	US\$389 millones	Shell , Mitsui	
construcción	Costa Azul	2008	México	10.2	US\$600 millones	Sempra, Shell	Indonesia
planeada	Tijuana	2009	México	7.1	\$US 650 millones	Chevron Texaco	Gorgon

## CAPÍTULO 5. PLANTAS DE REGASIFICACIÓN

planeada	Lázaro Cárdenas	2009	México	6	\$US 500 millones	Repsol	Pacific Lng
activa	Guayanilla	2000	Puerto Rico	1	no disponible	Edison Mission	Trinidad y Tobago
activa	Everett Ma	1971	Estados Unidos	7.3	no disponible	Tractebel	Atlantic LNG
activa	Elba Island	1978	Estados Unidos	7	US\$ 298 millones	Southern LNG	Atlantic LNG
activa	cove point	1978	Estados Unidos	10.2	no disponible	Dominion	Atlantic LNG, noruega
activa	lago charles	2001	Estados Unidos	12.4	no disponible	Southern Union	atlanti c Lng

## CAPÍTULO 5. PLANTAS DE REGASIFICACIÓN



<sup>16</sup> Terminal Altamira



<sup>17</sup> Terminal de costa Azul



<sup>18</sup> Terminal Elba Island

Nuestro país, tanto por su extensión territorial como por su localización geográfica y características orográficas, ofrece condiciones favorables para el desarrollo de proyectos de aprovechamiento de energía que, en general, presentan, una viabilidad técnica y económica creciente. Considerar la internalización de los costos ambientales y los beneficios sociales de los proyectos de energía favorece esta tendencia, y se vislumbra una expansión significativa en el desarrollo de estos proyectos en el mediano y largo plazos.

CAPÍTULO 6  
ANÁLISIS DE RESULTADOS Y  
CONCLUSIONES

## CAPÍTULO 6. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

En base a las consideraciones presentadas con anterioridad podemos argumentar que la selección de un buen equipo vaporizador influye en toda la terminal de una manera importante, ya que éste equipo es el que dará pauta para la cantidad de GNL que se desee vaporizar.

La selección de una tecnología de vaporización se debe llevar a cabo después de conocer la ubicación de la planta y su capacidad, ya que la forma de operar de algunas de las tecnologías son favorecidas en climas cálidos, mientras que otras no se ven afectadas por las condiciones ambientales como los equipos que utilizan combustible como fuente de calor, sin embargo las cuestiones técnicas y el impacto ecológico presentan una dificultad mayor.

De acuerdo a las características analizadas en cada tecnología obtuvimos que los sistemas de vaporización que presentan mayor calificación son los de combustión sumergida y los de rejilla abierta, esto se ve reflejado en los vaporizadores instalados a nivel mundial. Esto no implica que las demás tecnologías no sean buenas pero en muchos casos al ser tecnologías nuevas han sido poco probadas por lo cual no cuentan con el respaldo suficiente para su adquisición y estudio para su diseño.

En la actualidad la cuestión ambiental es para considerarse, debido a esto es necesario buscar alternativas que no afecten el medio ambiente y que cuenten con la misma calidad y eficiencia de los equipos ya probados; como son el caso de los vaporizadores de aire ambiente, aunque éstas últimas premisas no son del todo ciertas, así para lograr que se cumplan es recomendable buscar una combinación de tecnologías que puedan satisfacer las necesidades de producción aún en momentos críticos.

## CAPÍTULO 6. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Así podemos concluir que no hay una regla general para la selección de la Tecnología y no existe alguna mejor, todo depende de las condiciones y las necesidades que se quieran cubrir.

# BIBLIOGRAFÍA

## BIBLIOGRAFÍA

- Process Heat Transfer Society of Houston. LNG Vaporizers. An Overview of LNG Vaporizers Technologies.  
<http://phts.homestead.com/PHTSH - March 2006.pdf>.
- LNG Vaporizer options study for Conoco Phillips. GBS LNG receiving Terminal by Foster Wheeler.  
<http://www.regulations.gov/fdmspublic/ContentViewer?objectId=09000064802c3ce08&disposition=attachmen8contentType=pdf>.
- Diseño y construcción de terminales de regasificación.  
[http://www.minas.upm.es/gaviota/Apuntes/pquiroga/diseño\\_const\\_terminales\\_regas.pdf](http://www.minas.upm.es/gaviota/Apuntes/pquiroga/diseño_const_terminales_regas.pdf).
- Oregon LNG Import Terminal. Vaporizer Alternatives Study.  
[http://www.oregonlng.com/pdfs/appendices/RR\\_13-1/Appendix13R-p2.pdf](http://www.oregonlng.com/pdfs/appendices/RR_13-1/Appendix13R-p2.pdf)
- Terminal de GNL Baja California. Resumen Técnico. Permiso Núm. G/139/ALM/2003.  
<http://www.cre.gob.mx/registro/permisos/gas/Anexos/139alm03/anex2.pdf>
- Planta de regasificación de gas natural licuado del Musel.  
<http://www.elcomentario.tv/documentos/memoriaregasificadora.pdf>
- Memoria técnico descriptiva del sistema de almacenamiento. Chevron Texaco de México, S.A. de C.V.  
<http://www.cre.gob.mx/registro/permisos/gas/Anexos/140alm03/anex24.pdf>
- Gas natural Licuado. Tecnología y mercado.  
[http://www.iae.org.ar/archivos/educ\\_gnl.pdf](http://www.iae.org.ar/archivos/educ_gnl.pdf)
- El Gas Natural Licuado (GNL).  
[http://www.agnchile.cl/prontus\\_agnchile/site/artic/20041229/asocfile/documento\\_sobre\\_gas\\_natural\\_licuado.pdf](http://www.agnchile.cl/prontus_agnchile/site/artic/20041229/asocfile/documento_sobre_gas_natural_licuado.pdf)
- Asociación de distribuidores de gas natural licuado.  
<http://74.125.95.104/search?q=cache:cwgxyBF->

## BIBLIOGRAFÍA

- [NRIJ:www.agnchile.cl/prontus\\_agnchile/site/artic/20041229/asocfile/presentacion\\_completa\\_gnl\\_1\\_1.ppt+capacidades+de+tanques+de+almacenamiento+de+GNL&hl=es&ct=clnk&cd=1](http://www.agnchile.cl/prontus_agnchile/site/artic/20041229/asocfile/presentacion_completa_gnl_1_1.ppt+capacidades+de+tanques+de+almacenamiento+de+GNL&hl=es&ct=clnk&cd=1)
- Cryogenic STORAGE TANKS AND TERMINALS CONSTRUCTED BY KAWASAKI HEAVY INDUSTRIES, LTD.  
<http://www.pharmacology.us/EquipmentPics/Cryo%20Storage.pdf>
  - Offshore LNG Receiving Terminals.  
[http://www.beg.utexas.edu/energyecon/lng/documents/CEE\\_offshore\\_LNG.pdf](http://www.beg.utexas.edu/energyecon/lng/documents/CEE_offshore_LNG.pdf)
  - Oregon LNG Terminal and Oregon pipeline project.  
[http://www.oregonpipelinecompany.com/pdfs/RR\\_12.pdf](http://www.oregonpipelinecompany.com/pdfs/RR_12.pdf)  
[http://www.oregonlng.com/pdfs2/RR8\\_Comment-ResponseMatrix.pdf](http://www.oregonlng.com/pdfs2/RR8_Comment-ResponseMatrix.pdf)
  - Hoja de datos de seguridad para sustancias químicas gas natural.  
<http://www.gas.pemex.com/NR/rdonlyres/F699DC76-6C74-4502-A41A-B9A430C24831/0/msdsgasnatural.pdf>
  - Wolverine tube heat transfer data book.  
[http://www.wlv.com/products/databook/ch5\\_2.pdf](http://www.wlv.com/products/databook/ch5_2.pdf)
  - Liquefied natural gas (LNG), fact sheet.  
<http://www.oregongeology.com/sub/publications/LNG-factsheet.pdf>  
[http://eng.lacity.org/techdocs/emg/Oceanway4\\_LNG\\_FS.pdf](http://eng.lacity.org/techdocs/emg/Oceanway4_LNG_FS.pdf)
  - Prospectiva del Mercado de gas natural 2007-2016.  
[http://www.sener.gob.mx/webSener/res/PE\\_y\\_DT/pub/Prospectiva%20Gas%20Natural%202007-2016%20FINAS.pdf](http://www.sener.gob.mx/webSener/res/PE_y_DT/pub/Prospectiva%20Gas%20Natural%202007-2016%20FINAS.pdf)
  - Reglamento del gas natural.  
<http://bibliotecas.salud.gob.mx/gsd/collect/compil/index/asoc/HASHdb92.dir/doc.pdf>

## BIBLIOGRAFÍA

- NOM-013-SECRE-2004. Requisitos de seguridad para el diseño, construcción, operación y mantenimiento de plantas de almacenamiento de gas natural licuado que incluyen sistemas, equipos e instalaciones de recepción, conducción, vaporización y entrega de dicho combustible.  
[http://www.sener.gob.mx/webSener/res/Acerca\\_de/nom013\\_secre2004.pdf](http://www.sener.gob.mx/webSener/res/Acerca_de/nom013_secre2004.pdf)
- NOM-001-SECRE-2003. Calidad del gas natural.  
<http://www.ordenjuridico.gob.mx/Federal/PE/APF/APC/SE/Normas/Oficiales/NOM-001-SECRE-2003.pdf>
- NOM-002-SECRE-2003. Instalaciones para el aprovechamiento de gas natural.  
[http://www.sener.gob.mx/webSener/res/Acerca\\_de/norm002\\_secre2003.pdf](http://www.sener.gob.mx/webSener/res/Acerca_de/norm002_secre2003.pdf)
- NOM-003-SECRE-2002. Distribución de gas natural y gas licuado de petróleo por ductos.  
[http://www.sener.gob.mx/webSener/res/Acerca\\_de/nom003\\_secre2002.pdf](http://www.sener.gob.mx/webSener/res/Acerca_de/nom003_secre2002.pdf)
- NOM-007-SECRE-1999. Transporte de gas natural.  
[http://www.sener.gob.mx/webSener/res/Acerca\\_de/nom007\\_secre2002.pdf](http://www.sener.gob.mx/webSener/res/Acerca_de/nom007_secre2002.pdf)
- Experiencias de climatización de distrito y generación distribuida.  
[http://www.bcn.es/publicacions/b\\_mm/ebmm67/64\\_RuyetS\\_QCcas.pdf](http://www.bcn.es/publicacions/b_mm/ebmm67/64_RuyetS_QCcas.pdf)
- Gas natural licuado en la Península de Yucatán.  
[http://www.sener.gob.mx/webSener/res/165/051124\\_GNL\\_Yuc.pdf](http://www.sener.gob.mx/webSener/res/165/051124_GNL_Yuc.pdf)
- Mustang Smart LNG. <http://www.mustangeng.com/>
- LNG Regasification Terminal.  
[https://portal.mustangeng.com/pls/portal30/docs/FOLDER/MUSTANGENG/INDUSTRY\\_POSTERS\\_CONTENT/LNG.PDF](https://portal.mustangeng.com/pls/portal30/docs/FOLDER/MUSTANGENG/INDUSTRY_POSTERS_CONTENT/LNG.PDF)

## BIBLIOGRAFÍA

- Flexibility in natural gas supply and demand. International Energy Agency.  
<http://www.iea.org/dbtw-wpd/textbase/nppdf/free/2000/gasflexibility2002.pdf>
- Energy policies of IEA Countries. International Energy Agency. Spain 2005 Review.  
[http://www.iea.org/Textbase/publications/free\\_new\\_Desc.asp?PUBS\\_ID=1570](http://www.iea.org/Textbase/publications/free_new_Desc.asp?PUBS_ID=1570)
- World Energy investment outlook. International Energy Agency. Insights 2003.  
<http://www.iea.org/textbase/work/2003/beijing/6WEIO.pdf>
- India: Dahej Liquefied Natural Gas Terminal Expansion Project. Summary Initial Environmental Examination, July 2006.  
<http://www.adb.org/Documents/Environment/IND/39921-IND-SIEE.pdf>
- Retribución de las actividades de regasificación. Enagas, Diciembre 2006.  
[http://www.mityc.es/NR/rdonlyres/29BB3741-DA98-46C5-8BB5-5309ED51B050/0/47\\_OM\\_3994\\_Regasificacion.pdf](http://www.mityc.es/NR/rdonlyres/29BB3741-DA98-46C5-8BB5-5309ED51B050/0/47_OM_3994_Regasificacion.pdf)
- The expansion of LNG Use in Japan. KUIHIRO MORI, Managing Director, The Japan Gas Association.  
<http://www.gas.or.jp/english/letter/images/07/pdf/LNG15.pdf>
- West Coast LNG Projects and Proposals.  
[http://www.energy.ca.gov/lng/documents/3\\_WEST\\_COAST\\_LNG\\_PROJECTS\\_PROPOSALS.PDF](http://www.energy.ca.gov/lng/documents/3_WEST_COAST_LNG_PROJECTS_PROPOSALS.PDF)

## BIBLIOGRAFÍA

- Map Showing Location and Capacity of Proposed Wes Coast LG Terminals: Oregon, Washington, British Columbia, California and Mexico.  
[http://www.energy.ca.gov/lng/documents/3\\_WEST\\_COAST\\_LNG\\_PROJECTS\\_PROPOSALS.PDF](http://www.energy.ca.gov/lng/documents/3_WEST_COAST_LNG_PROJECTS_PROPOSALS.PDF)
- West Coast LNG Projects and Proposals Status Update As of October 2008.  
[http://www.energy.ca.gov/lng/documents/4\\_WEST\\_COAST\\_PROJECTS\\_PROPOSALS\\_STATUS\\_UPDATE.PDF](http://www.energy.ca.gov/lng/documents/4_WEST_COAST_PROJECTS_PROPOSALS_STATUS_UPDATE.PDF)
- Corporate Profile. Osaka Gas Co., Ltd. July 2008.  
<http://www.osakagas.co.jp/html/corporate.pdf>
- Plan for the installation of a power plant using LNG cold energy at an LNG Terminal.  
[http://www.igu.org/html/wgc2003/WGC\\_pdffiles/10391\\_1045242396\\_18621\\_1.pdf](http://www.igu.org/html/wgc2003/WGC_pdffiles/10391_1045242396_18621_1.pdf)
- LNG plants in Spain: Something more than projects. May 2005.  
[http://www.iea.org/textbase/work/2005/LNGGasMarkets/session\\_7/3\\_Francisco\\_de\\_la\\_Flor.pdf](http://www.iea.org/textbase/work/2005/LNGGasMarkets/session_7/3_Francisco_de_la_Flor.pdf)
- Hazira Regasification Facility. The magazine of shell gas & Power, July 2007.  
[http://www.shell.com/static//shellgasandpower-en/downloads/our\\_brochures/gap\\_july.pdf](http://www.shell.com/static//shellgasandpower-en/downloads/our_brochures/gap_july.pdf)
- Tokyo gas environmental report 2000. Tokyo gas Co. LTD. 2001.  
[http://www.tokyo-gas.co.jp/env/ecorep/e\\_text/pdf/ecorep02e.pdf](http://www.tokyo-gas.co.jp/env/ecorep/e_text/pdf/ecorep02e.pdf)

## BIBLIOGRAFÍA

- LNG-Engineering Training of Tokyo Gas. YUTAKA SHIRAKAWA. Tokyo gas Co.LTD.  
[http://www.gas.or.jp/english/letter/images/06/pdf/08-LNG\\_training\\_paper\\_mr\\_shirakawa.pdf](http://www.gas.or.jp/english/letter/images/06/pdf/08-LNG_training_paper_mr_shirakawa.pdf)
- Mobile LNG Regasification plant.  
<http://www.wipo.int/pctdb/en/wo.jsp?IA=ES2004000498&wo=2005061950&DISPLAY=DESC>
- Planta regasificadora de Sagunto. <http://www.saggas.com/>
- Kryopak refrigeration processes. <http://www.kryopak.com/>
- Cryogenic Vaporizers.  
<http://www.selasfluid.com/international/web/le/us/likelesfus.nsf/docbyalias/Vaporizers>
- LNG Vaporizers. <http://www.spp.co.jp/English/jigyoku/ekika-e.html>
- LNG Express. The Leading Source of Information on Emerging LNG Markets. January 2007.  
<https://www.zeusdevelopment.com/secure/images/LNGX070101.pdf>
- Vaporizers Specifications for LOX/LIN/LAR/CO2/LNG. Universal Industrial Gases Inc.  
<http://www.uigi.com/vaporizers.html>
- Vanzetti engineering.  
<http://www.vanzettiengineering.com/site/>

## BIBLIOGRAFÍA

- Los buques de regasificación de GNL de Exmar.  
<http://www.surestegc.org/documentos/maradentro/Patrick.pdf>
- Enagas y el procolo de Kioto.  
<http://www.enagas.es/cs/Satellite?blobcol=urldata&blobheader=application%2Fpdf&blobkey=id&blobtable=MungoBlobs&blobwhere=1146243219496&ssbinary=true>
- Perspectivas del Gas Natural en México. **F.BARNÉS**, 2004.  
[http://www.economia.gob.mx/pics/p/p2604/gas\\_natural\\_barnes.pdf](http://www.economia.gob.mx/pics/p/p2604/gas_natural_barnes.pdf)
- La liberalización del sector del gas naural.2005.  
[http://www.eco.uc3m.es/nfabra/Docencia/Regulacion\\_Lic/Gas.pdf](http://www.eco.uc3m.es/nfabra/Docencia/Regulacion_Lic/Gas.pdf)
- Geopolítica del gas natural licuado en México.  
**V.RODRÍGUEZ**,2007.  
[http://www.eclac.org/drni/noticias/noticias/9/30239/20\\_Sr.Rodriguez.pdf](http://www.eclac.org/drni/noticias/noticias/9/30239/20_Sr.Rodriguez.pdf)
- Terminal de Almacenamiento y regasificación de GNL.  
<http://www.conae.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/3710/2/eugenioIaris.pdf>
- Seguridad en el diseño y operación de plantas de GNL.  
<http://www.csocial.ulpgc.es/Foros/gas/material/6A.pdf>
- Patentes de sistemas de regasificación de GNL  
<http://www.google.com/patents>

## BIBLIOGRAFÍA

- Natural Gas and LNG Supply and Demand Trends in Asia Pacific and Atlantic Markets.  
<http://eneken.ieej.or.jp/en/data/pdf/348.pdf>
- <http://www.inega.es/> : (A) (G) buena página del instituto de la energía gallego, con animaciones, información y otras actividades
- <http://www.endesa.es/Portal/portada?url=/Portal/es/negocios/electricidad/espanya/generacion/default.htm&idioma=es&>  
: (A) animación de varias centrales
- <http://www.unesa.es/> (A) animación de c.n. y mucha información
- <http://www.unesa.net/unesa/html/sabereinvestigar.htm> :  
(A) animación de varias centrales y muchísima información sobre la electricidad
- <http://www.edf.fr/407i/Accueilfr/LAtelierJeunes.html> : (A)  
(F) varias animaciones de energía de la empresa francesa de electricidad; muy buena
- <http://www.enel.it/VisitaCentrali/main.htm> : (A) (IT)  
interesante página con animaciones en italiano de centrales
- [http://www.eve.es/index\\_hc.asp](http://www.eve.es/index_hc.asp) : (A) animaciones de ciclo combinado, planta regasificadora, barco metanero
- [http://www.consumer.es/web/es/economia\\_domestica/infografias/](http://www.consumer.es/web/es/economia_domestica/infografias/) : (A) animaciones muy interesantes de placas solares, casas domóticas, etc
- [http://www.eve.es/index\\_hc.asp](http://www.eve.es/index_hc.asp) : (A) animaciones de refinado del petróleo y otras
- <http://www.schoolscience.co.uk/petroleum/index.html> : (A)  
(I) animaciones, información, juegos, etc, sobre petróleo, refinerías, etc

## BIBLIOGRAFÍA

- <http://www.shell.com/home/Framework?siteId=es-es> : (A) varias animaciones del petróleo y el gas natural
- <http://www.medgaz.com/medgaz/index.html> : (A) animación de un gasoducto submarino
- <http://www.jeunes.gazdefrance.com/> : (F) (A) varias animaciones y actividades sobre el gas natural de esta empresa francesa
- <http://www.gasnatural21.net/>: (A) amena página con gincana, unidades didácticas, etc sobre el gas natural
- <http://www.foronuclear.org/> : (A) animación de una c.n., glosario, datos de c.n. españolas y del mundo, etc
- <http://www.enel.it/VisitaCentrali/main.htm> : (A) (IT) interesante página con animaciones en italiano de centrales: eólica, fotovoltaica, geotérmica
- <http://www.solucar.es/> : (A) interesante página de esta empresa, con varios gráficos, animaciones y fotos
- <http://www.andaluciainvestiga.com/espanol/cienciaAnimada/cienciaAnimada.asp> : (A) animaciones de las energías solares
- <http://www.windpower.org/composite-188.htm> : (A) excelente página sobre el viento y la energía eólica; todo lo relacionado con el viento y los aerogeneradores lo encontrarás aquí
- <http://www.nrel.gov/wind/animation.html> : (A) (I) animación y partes de un aerogenerador
- <http://www.calenergy.com/html/aboutus4.asp> : (A) (I) animación en inglés de una central geotérmica
- <http://www.oceanpd.com/Pelamis/default.html> : (A) (I) información y animación de un proyecto para aprovechar la energía de las olas

## BIBLIOGRAFÍA

- Optimize energy integration for LNG terminals. Integrating heating requirements with adjacent facilities can provide economic bonus while improving operating efficiencies. **B.C. PRICE**, Black & Veatch Pritchard Inc., Overland Park, Kansas. Hydrocarbon Processing, July 2004
- Optimize energy consumption for LNG vaporization. New methods maximize heat transfer to regasify natural gas with minimum environmental impacts. **M.J. ROSETA**, Black & Veatch, Houston, Texas; **B.C. PRICE**, Black & Veatch, Dallas, Texas and **L.HIMMELBERGER**, Cryoquip Corporation, Allentown, Pennsylvania. Hydrocarbon Processing, January 2006.
- Improved regasification methods reduce emissions. New technologies promote monetization of global LNG. **W.S.WORTHINGTON** and **B.S. HUBARD**, Mustang Engineering, L.P., Houston, Texas. Hydrocarbon Processing, July 2005.
- LNG receiving and regasification terminal operations. Understanding and controlling boil-off pressure enhances energy efficiency. **S.P.B. LEMMERS**, Fluor Haarlem B.V. The Netherlands. Hydrocarbon Processing, July 2005.
- HPINNOVATIONS. New ambient-air LNG vaporization technology. Hydrocarbon Processing, September 2005.
- HPIN LNG. Changing role of long-term LNG contracts. **SAEID MOKHATAB**, contributing editor . Hydrocarbon Processing, October 2006.
- HPIN LNG. Changing LNG trade within the global gas market. **SAEID MOKHATAB**, contributing editor . Hydrocarbon Processing, December 2006.
- HPIN LNG, Shipping natural gas-new frontiers. **SANJEEV SARAF**, contributing editor . Hydrocarbon Processing, January 2007.

## BIBLIOGRAFÍA

- HPIN LNG. Managing execution risk for LNG projects. **SAEID MOKHATAB**, contributing editor . Hydrocarbon Processing, October 2007.
- HPIN LNG. Plant reliability and availability. **SAEID MOKHATAB**, contributing editor . Hydrocarbon Processing, December 2007.
- Select the optimum extraction method for LNG regasificación. Varying energy compositions of LNG imports may require terminal operators to remove C<sub>2</sub>+ compounds before injecting regasified LNG into pipelines. **S.HUANG, D. COYLE, J.CHO** and **C.DURR**, Kellogg Brown & Root, Inc, Houston, Texas. Hydrocarbon Processing, July 2004.
- North American LNG terminals: Options?. Several critical factors should be considered when designing receiving facilities. **H. PATEL, C. CASWE** and **C. DURR**, KBR, Houston, Texas. Hydrocarbon Processing, July 2005.
- Desing turnkey floating LNG facility. Important factors to consider when planning an FPSO. **D.HARROLD**, KBR, London, UK. Hydrocarbon Processing, July 2004.
- Gas Processes 2002. NGL recovery. Hydrocarbon processing, May 2002.
- HPINNOVATIONS. Submerged system offloas LNG to pipelines. **LES KANE** and **STEPHANY ROMANOW**, Hydrocarbon processing, August 2002.
- LNG storage tanks: advancements in weld inspections. New inspection method improves jobsite examinations and verification of welds. **R.KRUZIC**, CB&I, The Woodlands, Texas, Hydrocarbon Processing, July 2004.
- Natural Gas and LNG trade-a global perspective. New dynamics within the gas industry will accelerate its ability to eclipse oil as the premier fuel of the world economy. **S.MOKHATAB**, University of Wyoming, Laramie, Wyoming;

## BIBLIOGRAFÍA

**M.J.ECONOMIDES**, University of Houston, Houston, Texas;  
and **D.WOOD**, David Wood & Associates, Lincoln, UK.  
Hydrocarbon Processing, July 2006.

- Are resources at the ready to build the future LNG industry?. Here are projections on likely market size and constraints facing the participants. **J.P. CHEVRIÈRE**, Transmar Consult Inc., Houston, Texas. Hydrocarbon Processing, December 2005.
- Using gas pipeline to liquefy natural gas or generate electricity. This novel approach can save money and improve energy usage efficiency. **D.M. SHEN, F. FERNANDES** and **J.R. SIMONES-MOREIRA**, SISEA-Alternative Energy Systems Laboratory Mechanical Engineering Dept. at Escola Politécnica, Universidade de Sao Paulo, Sao Paulo, Brazil. Hydrocarbon Processing, January 2006.
- HPIMPACT. Natural Gas. LNG. Hydrocarbon Processing, January 2004.
- HPIMPACT. LNG prices. New LNG Terminals. Hydrocarbon Processing, September 2003.
- Use titanium tubes to create higher-capacity, corrosion-resistant exchangers. High-technology heat exchangers are an integral part of increased production at an Indonesian LNG plant. **G.K. PASE**, Joseph Oat Corp., Camden, New Jersey, and **J. O'DONNELL**, High Performance Tube, Inc., Warren, New Jersey. Hydrocarbon Processing, October 1995.
- Study focuses on six LNG regasification systems. **BRIAN EISENTROUT, STEVE WINTERCORN** and **BARBARA WEBER**, LNG Journal, August 2006.
- Chart Industries LNG Technology Brings Clean Energy to End Users. Ferox a.s, a Chart Industries Company, 2004.
- LNG del a era del gas a a eradel LNG. ¿Qué es el LNG?. Cámara Boliviana de Hidrocarburos. Bolivia.

## BIBLIOGRAFÍA

- Hanbook of Netural Gas Transmission andprocessing. SAEID MOKHATAB, WILIAM A. POE, JAMES G. SPEIGTH. Elsevier Inc. 2006.
- Standard Handbook of petroleum & Natural gas Engineering. Volume 1. WILLIAM C. LYONS, Gulf Publishing Company, Houston, Texas, 1996.
- Standard Handbook of petroleum & Natural gas Engineering. Volume 2. WILLIAM C. LYONS, Gulf Publishing Company, Houston, Texas, 1996.
- NFPA 59A. Standard for the production, Storage, and Handling of Licuefied Gas Natural (LNG). 2001 Edition.