

ACADEMIA NACIONAL DE INGENIERÍA

INSTITUTO DEL TRANSPORTE

DOCUMENTO NÚMERO 14

G.N.L., COMBUSTIBLE PARA LA PROPULSIÓN NAVAL

Ing. Carlos Brañas



OCTUBRE 2020

BUENOS AIRES
REPÚBLICA ARGENTINA

ACADEMIA NACIONAL DE INGENIERÍA

INSTITUTO DEL TRANSPORTE

DOCUMENTO NÚMERO 14

G.N.L., COMBUSTIBLE PARA LA PROPULSIÓN NAVAL

Ing. Carlos Brañas



OCTUBRE 2020

**BUENOS AIRES
REPÚBLICA ARGENTINA**

ACADEMIA NACIONAL DE INGENIERÍA

PRESIDENTE HONORARIO

Ing. Oscar A. Vardé

MESA DIRECTIVA (2020-2022)

Presidente

Ing. Manuel A. Solanet

Vicepresidente 1º

Ing. Máximo J. Fioravanti

Vicepresidente 2º

Ing. Oscar U. Vignart

Secretario

Ing. Tomás A. del Carril

Prosecretaria

Ing. Patricia L. Arnera

Tesorero

Ing. Gustavo A. Devoto

Protesorero

Ing. José Luis Rocés

ACADEMIA NACIONAL DE INGENIERÍA

ACADÉMICO HONORARIO

Ing. Isidoro Marín (†)

ACADÉMICOS EMÉRITOS

Ing. Osvaldo C. Garau

Ing. René A. Dubois

Ing. Eduardo A. Pedace

Ing. Conrado E. Bauer

Dr. Ing. Rodolfo F. Danesi

Dr. José P. Abriata

Ing. Juan S. Carmona

Ing. Augusto C. Noel

ACADEMIA NACIONAL DE INGENIERÍA

ACADÉMICOS TITULARES¹

Ing. Oscar A. Vardé
Ing. Luis U. Jáuregui
Dr. Ing. Raúl A. Lopardo
Ing. Ricardo A. Schwarz
Ing. Manuel A. Solanet
Ing. Francisco J. Sierra
Ing. Tomás A. del Carril
Ing. Rodolfo E. Biasca
Ing. Eduardo R. Baglietto
Ing. Arístides B. Domínguez
Ing. Alberto Giovambattista
Ing. Carlos D. Tramutola
Dra. Ing. Noemí E. Zaritzky
Ing. Gustavo A. Devoto
Ing. Patricia L. Arnera
Dr. Ing. Raúl D. Bertero
Ing. Máximo J. Fioravanti
Ing. Miguel A. Beruto
Ing. Oscar U. Vignart
Dr. Ing. Ezequiel Pallejá
Ing. Osvaldo J. Postiglioni
Ing. Luis A. de Vedia
Ing. Javier R. Fazio
Ing. José Luis Roces
Ing. Roberto S. Carnicer
Ing. Nicolás Gallo
Ing. Raúl S. Escalante (electo)
Ing. Antonio A. Cadenas (electo)
Ing. Mario Solari (electo)
Ing. César Arias (electo)
Ing. Hipólito A. Choren (electo)
Ing. José Luis Inglese (electo)

¹ Ordenados según antigüedad.

ACADEMIA NACIONAL DE INGENIERÍA

INSTITUTO DEL TRANSPORTE

Director: Académico Ing. Máximo J. Fioravanti

Integrantes:

Ing. Roberto D. Agosta

Arq. Heriberto Allende

Ing. José Ante

Ing. Pablo Arecco

Lic. José A. Barbero

Ing. Carlos María Brañas

Ing. María Graciela Berardo

Ing. Pablo J. Bereciartua

Ing. Pablo E. Bolzan

Ing. Daniel Enrique Bustos

Académico (electo) Ing. Raúl S. Escalante

Ing. Miguel J. Fernández Madero

Ing. Alejandra D. Fissore

Ing. Jorge Kohon

Ing. Guillermo Krantzer

Ing. Luis Miguel Girardotti

Ing. Raúl Fernando González

Lic. Rodolfo Francisco Huici

Ing. Horacio Ibarra

Ing. Juan Pablo Martínez

Arq. Eduardo Moreno

Académico Emérito Ing. Augusto Noel

Ing. Luis Raúl Outes

Lic. Carmen Polo

Ing. Horacio E. Pesce

Ing. Olga C. Vicente

Académico Ing. Ricardo A. Schwarz

Académico Ing. Francisco J. Sierra

Académico Ing. Manuel Solanet

G.N.L., COMBUSTIBLE PARA LA PROPULSIÓN NAVAL

Contenido

1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	PROPULSIÓN NAVAL, BREVE HISTORIA	1
1.1.1	MOTORES DIESEL	2
1.2	EL ORIGEN	3
1.3	LAS REGULACIONES	3
1.3.1	HISTORIA	3
1.3.2	MARPOL	4
1.3.3	EL MEDIO AMBIENTE.....	5
1.3.4	LOS REQUERIMIENTOS	7
1.3.4.1	NO _x	8
1.3.4.2	SO _x + PM.....	8
1.3.4.3	CO ₂	9
1.3.4.4	ACE (ECA)	9
1.3.5	LAS SOLUCIONES.....	9
1.4	GNL (LNG) – CONCEPTOS BÁSICOS	10
2	EL GNL A BORDO	11
2.1	LOS MOTORES	11
2.1.1	CICLO OTTO VS CICLO DIESEL	11
2.1.2	2-TIEMPOS VS 4-TIEMPOS.....	12
2.2	LOS TANQUES	12
2.2.1	TANQUES DE MEMBRANA	12
2.2.2	TANQUES ESTRUCTURALES	13
2.2.2.1	TIPO “A”	13
2.2.2.2	TIPO “B”	13
2.2.2.3	TIPO “C”	14
2.3	EL SISTEMA DE GASIFICACIÓN	14
2.4	RECUPERACIÓN DE LA EVAPORACIÓN (BOIL OFF)	15
3	IMPLEMENTACIÓN DEL USO DE GNL EN LA REGIÓN	17
3.1	INTRODUCCIÓN	17
3.2	REMOLCADORES DE EMPUJE	17
3.3	IMPACTOS EN LA REGIÓN	18
3.4	DISPONIBILIDAD	19
3.5	COSTOS	19
3.5.1	OPERACIÓN	20
3.5.2	MEDIO AMBIENTE.....	21
3.5.2.1	¿QUÉ TENEMOS?	21
3.5.2.2	¿QUÉ HACEMOS?	21
3.5.2.3	¿QUÉ PODEMOS HACER?	21
3.6	FACTORES CONTRIBUYENTES A LA IMPLEMENTACIÓN	21
3.6.1	TRES PROYECTOS	22
3.6.2	PLAN MAESTRO	22
3.6.2.1	GNL EN LA PROPULSIÓN	22
3.6.2.2	IMPACTOS	23
3.6.2.3	DISTRIBUCIÓN DE GNL AL NEA.....	24
3.6.2.4	MARCO NORMATIVO	25
3.6.2.5	METODOLOGÍA	25
3.7	PROTOTIPOS	26
3.7.1	¿POR QUÉ UN PROTOTIPO?.....	26

3.7.2	REQUERIMIENTOS PARA EL PROTOTIPO	26
4	CONCLUSIONES	29

ILUSTRACIONES

1	- Motor Sennett (Naval-History.net).....	2
2	- Motor de cilindros opuestos (Jorn Dragsted).....	2
3	- Válvula de escape hidráulica (marinediesels.info)	2
4	- Monumento a Samuel Plimsoll - Londres (tripadvisor)	3
5	- Estructura del MARPOL.....	5
6	- Uso Mundial de la Energía en el transporte.	6
7	- Uso mundial de la Energía: Carga y Pasajeros.	6
8	- Uso de Energía en el Transporte (US Energy Dep.).....	7
9	- Regulaciones sobre NO _x (Chorowski).....	8
10	- Regulaciones sobre SO _x (Chorowski).....	8
11	- ECA Áreas de Control de emisiones actuales y futuras (Campara)	9
12	- Scrubber - (Shipinsight.com).....	9
13	- Tanque de membrana (GTT).....	12
14	- Tanque tipo "A" (LNT)	13
15	- Tanque tipo "B" (KHI).....	13
16	- Tanque tipo "C" (Gloryholder).....	14
17	- Sistemas de Gasificación (IOP Chorowski).....	14
18	- Sistema de recuperación de vapores (Boil Off) (IOP Chorowski).....	16
19	- Impactos en la Región	18
20	- Remolcador de Empuje a GNL por Consulmar SRL	18
21	- Costos Internacionales de combustibles (Sec. de Energía de EE. UU.)	19
22	- Costos de Combustibles.....	20
23	- Remolcador de Empuje de GNL, por Consulmar SRL	26

G.N.L., COMBUSTIBLE PARA LA PROPULSIÓN NAVAL

Ing. Carlos Brañas

RESUMEN

Este trabajo revisa las razones por las cuales el Gas Natural Licuado, G.N.L., se está transformando en el nuevo combustible en la propulsión Naval, ilustra como el G.N.L. se emplea a bordo y analiza cómo su empleo en la Hidrovía Paraguay Paraná, H.P.P., debe ser implementado.

Esta experiencia puede ser muy bien extrapolada a otros ambientes comparables.

Los primeros títulos dan una introducción a ciertas especificidades del sector naval, para aquellos que no están familiarizados con él.

Se formula el desarrollo de un Plan Maestro y el establecimiento de un marco regulatorio.

Finalmente se propone el diseño de prototipos y se sugieren lineamientos para los mismos.

Las conclusiones destacan las oportunidades que nos brinda el GNL de innovar en equipos y prácticas que han permanecido ancladas en el pasado por falta de políticas adecuadas. Está en nosotros, conformarnos con responder a un requerimiento con lo mínimo necesario, o en uso de nuestras mejores capacidades, tomar esta oportunidad y utilizarla para pasar a la vanguardia de las posibilidades tecnológicas de esta era.

1 INTRODUCCIÓN

El GNL se está convirtiendo progresivamente en el combustible para la propulsión Naval en todo el mundo.

Este proceso está introduciendo grandes cambios en el diseño y en la operación de todas las embarcaciones.

Ningún país quedará excluido de estos cambios que podemos ver ocurriendo actualmente.

1.1 PROPULSIÓN NAVAL, BREVE HISTORIA

El origen de la propulsión naval se remonta a inicios del siglo XIX. Las calderas de carbón y las máquinas de Watt de simple expansión se adaptaron exitosamente para su uso a bordo.

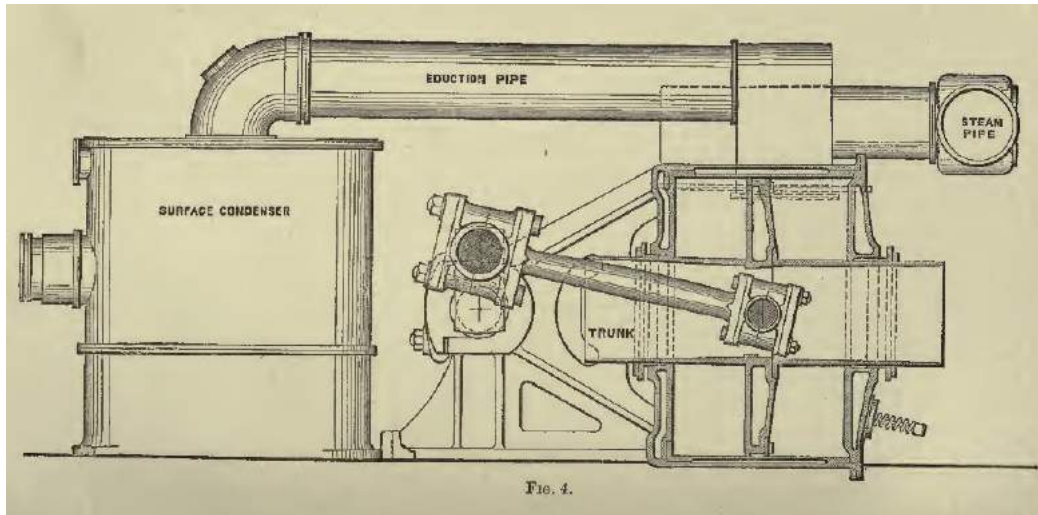
Este concepto se fue desarrollando a lo largo del siglo XIX hacia plantas propulsoras cada vez más eficientes, aunque siempre basadas en calderas de carbón. El Fuel Oil se introdujo hacia el final del siglo junto con la turbina de vapor "Parsons".

Este esquema dominó la industria hasta luego después de la segunda guerra mundial.

El motor diesel fue introducido por los alemanes en los años 30. Durante la 2da Guerra, solo los barcos alemanes empleaban este tipo de propulsión.

A posteriori de la guerra, la flota mundial se transformó a diésel, excepto en EEUU, dónde por requerimientos estratégicos, se mantuvo por bastante tiempo el vapor, que permite aumentar la potencia con facilidad.

Este, más allá del crecimiento en tamaño, fue el último gran cambio tecnológico, hasta el presente.



1 - Motor Sennett (Naval-History.net)

1.1.1 MOTORES DIESEL

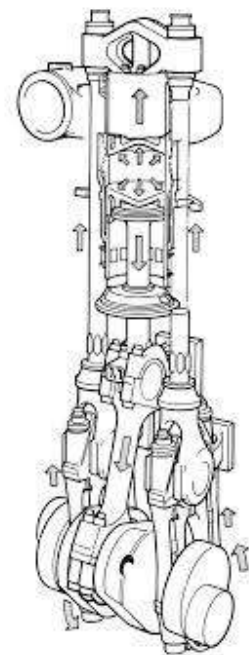
Los motores Diesel han sufrido una serie de mejoras desde que se empezaron a instalar abordo.

Lo que permitió su utilización, fue la aplicación de turbocompresores. La relación peso/potencia alcanzó valores adecuados para su instalación abordo.

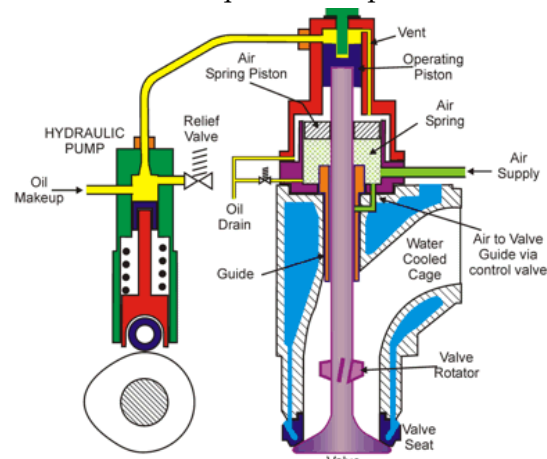
De allí en más, muchas mejoras se fueron introduciendo principalmente en el barrido, e. g. barrido tangencial, transversal, directo; todos ellos con el objetivo de mejorar la combustión.

En esta misma línea, hay un desarrollo interesante, el motor de cilindros opuestos con un solo cigüeñal, Doxford, que se muestra en croquis.

Se lo puede definir como un motor con una gran válvula de escape. Fue un motor muy económico, desarrollado fuera de época, en tiempos de combustible barato.



2 - Motor de cilindros opuestos (Jorn Dragsted).



3 - Válvula de escape hidráulica (marinediesels.info)

El último desarrollo significativo es la válvula de escape hidráulica con control electrónico, que permite un muy buen control de la combustión en regímenes variables.

1.2 EL ORIGEN

El GNL se utilizó a bordo por primera vez en los buques metaneros (transporte de GNL). Se construyeron a partir de la década de los 60 en EE. UU. y en Francia.

El concepto es que como la vaporización de la carga de GNL por las pérdidas térmicas aumenta la presión del tanque, el gas vaporizado debe ser consumido o venteado (práctica esta, aceptable en aquellos tiempos). El gas se quema en las calderas y la propulsión es mediante turbina de vapor.

Este combustible permaneció disponible sólo para los barcos metaneros hasta la aceptación mundial de las regulaciones para mitigar la contaminación atmosférica y la producción de gases de efectos invernadero en el sector marítimo.

En derivación de los requerimientos de las regulaciones, los fabricantes de los motores desarrollaron los motores duales, GNL y/o diésel, lo que permite una gran flexibilidad en la operación, especialmente considerando la escasez de estaciones de reaprovisionamiento de GNL. El segundo factor importante es el desarrollo de las micro plantas de licuefacción, que permiten licuar en cualquier lugar, en las cantidades requeridas, en cualquier escala, adecuándose a todo requerimiento, sin depender de grandes plantas de licuefacción.

1.3 LAS REGULACIONES

**Las Regulaciones aplicables al transporte Marítimo, deben ser Globales
para ser eficientes (O.M.I.).**

El sector marítimo tiene una larga historia de regulaciones internacionales.

1.3.1 HISTORIA

Las primeras reglas de construcción se remontan a los primeros años del mercado de seguros marítimos, esto corresponde a la segunda mitad del siglo XVIII. Los barcos se clasificaban en una escala (1, 2, 3, ...) según la calidad de su construcción y del estado de su aparejo, etc., a discreción del inspector. El siglo XIX dio origen a las sociedades de clasificación como las conocemos hoy, con reglas de construcción y procedimientos de inspección. La primera fue el Bureau Veritas en Amberes y casi simultáneamente surgió el Lloyd's Register en Londres.

En 1870 vemos surgir el primer reglamento "operativo", el de líneas de carga que limita la cantidad de carga a recibir a bordo estableciendo la distancia mínima que debe haber desde la cubierta corrida hasta el plano de agua. Esto se conoce como la marca de "Plimsoll". Los armadores tendían a sobre asegurar los barcos y luego a sobre-



4 - Monumento a Samuel Plimsoll - Londres (tripadvisor)

cargarlos, produciendo numerosos incidentes con gran costo de vidas. La numerosa presencia de armadores entre los miembros del parlamento hizo muy difícil la cruzada de Plimsoll, quien terminó amenazando al primer ministro Disraeli con su puño. La ley fue finalmente aprobada, pero se llevó con ella la carrera política de Plimsoll.

Su legado llega hasta nuestros días. **La marca de Plimsoll** es parte de la **Convención Internacional de Líneas de Carga (ILLC)** de la OMI, vigente.

La primera convención internacional adoptada por todos los países con flotas relevantes es la **Convención para la Seguridad de la Vida Humana en el Mar (SOLAS)**. Fue adoptada en 1914 como consecuencia del incidente del “Titanic” en 1912. Con sucesivas actualizaciones, se mantiene en vigencia hasta el presente. Cubre aspectos tales como subdivisión estanca, estabilidad, construcción del casco y de la maquinaria, lucha contra incendios, comunicaciones de radio, etc.

La segunda guerra mundial dio lugar, en 1945, a la formación de las Naciones Unidas (ONU / UN) y dentro de su organización, a la OMI (IMO) **Organización Marítima Internacional** (inicialmente designada en forma diferente) a partir de 1958. La Regulación SOLAS se incorporó en 1960 en una versión actualizada a esa fecha. También la ILLC y el COLREG, Reglamento para Prevenir los Abordajes, se incorporaron al cuerpo de tratados de la OMI.

MARPOL, la convención que nos interesa en este caso, se adoptó en 1973, en buena medida debido al encallado del tanquero “Torey Canon” en la costa sur de Inglaterra. El derrame llegó a Francia. El canal de la Mancha fue cubierto con 120 000 toneladas de crudo, el mayor incidente de este tipo en la historia de la marina mercante mundial. Entre el 76 y el 77 se produjeron muchos incidentes con tanqueros, por lo que la convención, que aún no estaba en vigencia fue revisada y esta nueva versión entró rápidamente en vigor. El Anexo VI, que se ocupa de la contaminación atmosférica, entró en vigor posteriormente, en el año 2005.

Otro incidente que impactó en la reglamentación internacional es el del “*Exxon Valdez*” en 1989, en Alaska, en el muy frágil y difícil de limpiar estrecho de *Puget Sound*. La limpieza costó más de 2 500 millones de dólares y los reclamos superaron los 7 000 millones. Las compañías de petróleo se deshicieron de sus flotas y comenzaron a alquilar barcos de terceros estableciendo controles sumamente rígidos (también confiados a terceros). El gobierno de los EE. UU. unilateralmente emitió el Acta de Polución de 1990 (*Oil Pollution Act*), conocida como OPA90, que estableció la obligatoriedad del doble casco en barcos surcando aguas de su jurisdicción, con independencia de otras medidas que estaban en estudio en la OMI. El OPA90 se transformó en la práctica, en la norma mundial, abandonándose otras interesantes soluciones en estudio.

1.3.2 MARPOL

La convención MARPOL, más allá de lo formal, está organizada en seis anexos, regulando tanto la contaminación incidental como la operativa.

A continuación, mostramos los contenidos de dichos anexos.



Anexo I

- Derrame de Hidrocarburos.



Anexo II

- Substancias nocivas líquidas a granel.



Anexo III

- Substancias perjudiciales en bultos.



Anexo IV

- Aguas Sucias.



Anexo V

- Basuras.



Anexo VI

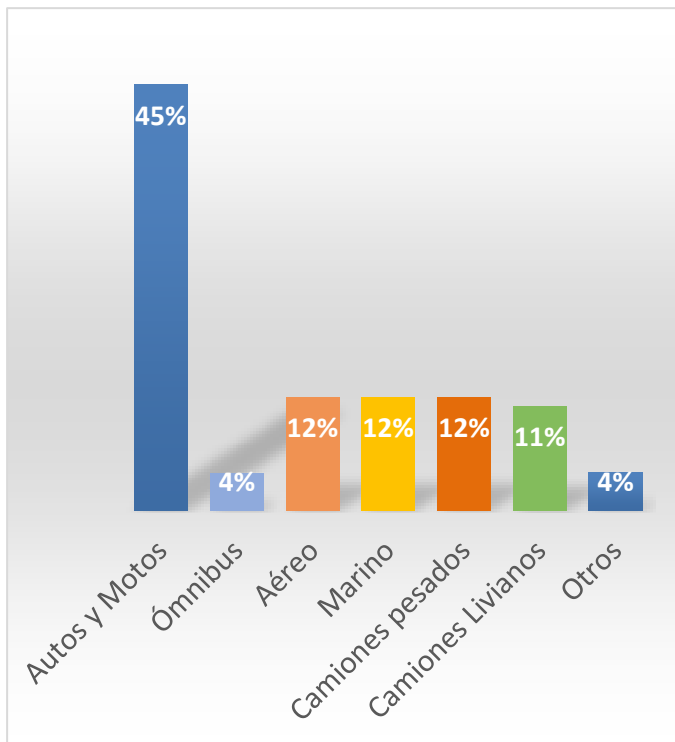
- Contaminación Atmosférica.

5 - Estructura del MARPOL.

1.3.3 EL MEDIO AMBIENTE

Veamos la participación del transporte marítimo en la contaminación debida al transporte global.

Citaremos estadísticas informadas por la Administración de Energía de los EE. UU.: *US Energy Information Administration. International Energy Outlook. 2016.*



6 - Uso Mundial de la Energía en el transporte.

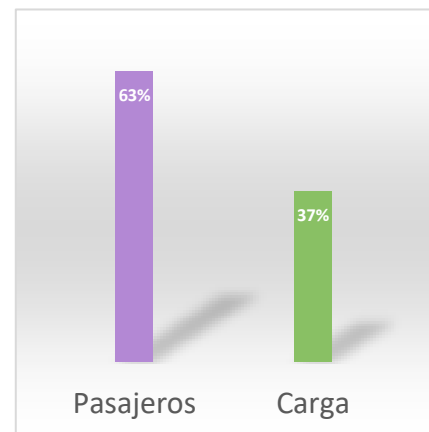
El gráfico 5, representa la distribución del uso de la energía en el mundo (2015).

Autos y motos sobresalen con un extraordinario 45%. Sólo esto nos debería mover a la reflexión

El transporte Marítimo emplea el 12%, lo que no aparenta ser mucho, pero sí es importante en números absolutos (especialmente para las poblaciones ribereñas).

Otra forma de ver estos datos es agrupando por su empleo en Transporte de Cargas y de Pasajeros. Sólo el 37% del total de la energía se emplea en el transporte de cargas.

El movimiento de pasajeros en el mundo moderno paga un alto precio en contaminación. Este es otro número que nos debe mover a la reflexión.



7 - Uso mundial de la Energía: Carga y Pasajeros.



Este último gráfico, incluye a los anteriores en los dos anillos exteriores.

Note que el transporte marítimo que comprende el 90% del comercio mundial, consume sólo el 12% de la energía dedicada al transporte. Sin embargo, **el impacto en las poblaciones ribereñas y portuarias es muy importante**. Esto ha sido evaluado y cuantificado en detalle en estudios europeos.

1.3.4 LOS REQUERIMIENTOS

¿Cuáles son los requerimientos que impone MARPOL?

A continuación, los ítems cubiertos por el Anexo IV:

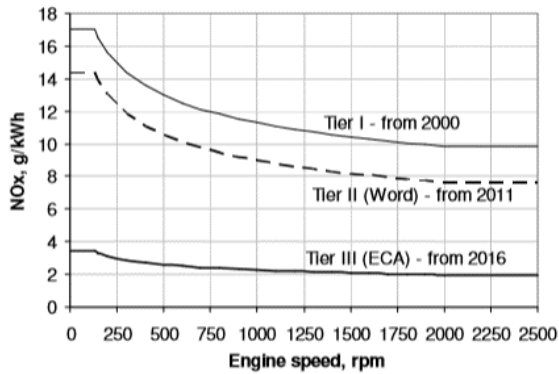
- **SO_x** (Óxidos Sulfurosos) y Partículas en Suspensión **PM** (*Particulate Matter*) (Reg. 14).
- **NO_x** (Óxidos Nitrosos) por emisiones de los motores diésel (Reg. 13).
- **Calidad de los combustibles** para uso marino (Reg. 18).
- **Gases de efecto invernadero** a través de la eficiencia energética de las embarcaciones (Capítulo 4).
- **VOC** (Compuesto Orgánicos Volátiles), emisiones de la carga de los buques tanque (Reg. 15).
- Substancias nocivas para el ozono **ODS** (*Ozone Depleting Substances*).
- Incineradores a bordo (Reg. 16).

Adicionalmente, el Anexo VI define las Áreas de Emisión Controlada **ECA** (*Emission Control Areas*).

De todas, nos concentraremos en las dos primeras y haremos algunos comentarios sobre la tercera, debido a su impacto en el diseño de las embarcaciones.

1.3.4.1 NO_x

Los óxidos nitrosos, NO_x, son compuestos contenidos en los gases de escape de los motores diésel resultado de la combustión. Su emisión a la atmósfera afecta la formación de smog y contribuye al calentamiento global y a la lluvia ácida (*Overview of MARPOL ANNEX VI; Leo Campara*).

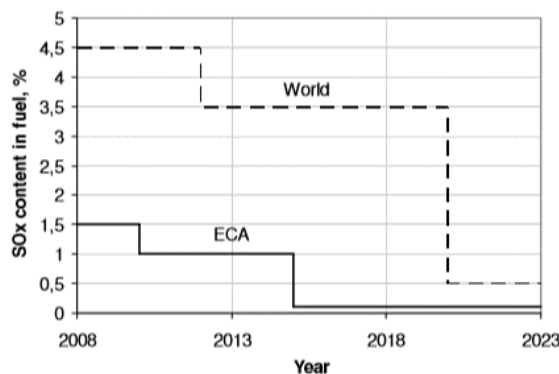


9 - Regulaciones sobre NO_x (Chorowski)

El transporte marítimo es responsable por el 7% de las emisiones mundiales de NO_x; esto significa 5 millones de ton. La regulación establece una serie de objetivos a ser alcanzados por etapas, basadas en el número de vueltas de los motores. Los requerimientos en el gráfico también están asociados a la edad y año de construcción de las embarcaciones.

1.3.4.2 SO_x + PM

Las emisiones de SO_x y PMs están comprendidas por la Regla 14. A diferencia de los NO_x, que se limitan a lo emitido por los motores diésel, los SO_x y PMs se controlan para cualquier fuente a bordo, en función del contenido en el combustible.



10 - Regulaciones sobre SO_x (Cho-

Los óxidos sulfurados, SO_x son un nombre abarcativo para los dióxidos, SO₂, y los trióxidos, SO₃ sulfurados. Estos compuestos son conocidos como “gases ácidos” pues su transformación resulta en la formación de componentes que se separan de la lluvia ácida causando la acidificación de la tierra y los lagos. Potencialmente tienen efectos que van en detrimento de la salud humana, de la vegetación y de las construcciones.

Las partículas en suspensión, PMs, son una mezcla compleja de micropartículas de hollín y cenizas formadas a partir de los productos de la combustión y de pequeñas gotas líquidas. Cuanto mayor es el contenido de azufre del combustible, mayor es la formación de partículas. Como son extremadamente pequeñas, estas partículas, inhaladas, pueden causar serios daños a la salud. Las partículas de menos de 10 micrones en diámetro son las que causan los mayores problemas, ya que penetran profundamente en los pulmones, algunas incluso pueden entrar al torrente sanguíneo (*Overview of MARPOL ANNEX VI; Leo Campara*).

El transporte marítimo es responsable por aproximadamente el 4% de las emisiones mundiales de SO_x, esto corresponde a aproximadamente 6 millones de toneladas.

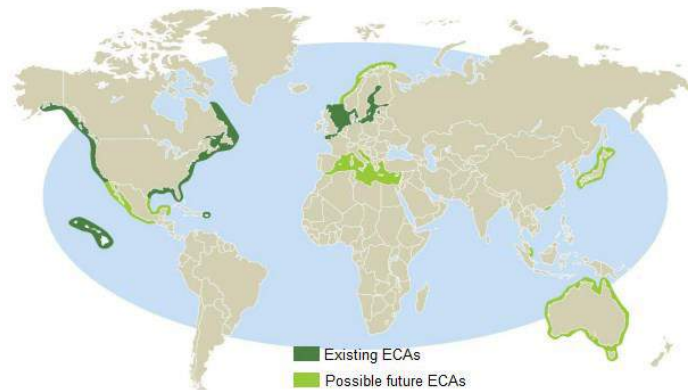
1.3.4.3 CO₂

El CO₂ y los gases de efecto invernadero en general, están cubiertos indirectamente por el capítulo 4, dónde se requiere un diseño “eficiente”.

En pocas palabras, un diseño hidrodinámicamente eficiente consumirá menos combustible, y por lo tanto reducirá las emisiones de los gases de efecto invernadero.

Cubriremos esto en detalle al final, en el ítem 3.7 PROTOTIPOS.

1.3.4.4 ACE (ECA)



11 - ECA Áreas de Control de emisiones actuales y futuras (Campara)

Las Áreas de Control de Emisiones, están definidas en el Anexo VI. Permiten imponer requerimientos más estrictos en áreas más frágiles o de más tránsito. Inicialmente las ECA comprendían el Mar Báltico, el Mar del Norte para SO_x y las costas E y O de los EE. UU. para NO_x y SO_x.

1.3.5 LAS SOLUCIONES

Veremos a continuación las opciones técnicas para alcanzar los objetivos del Anexo VI.

- **SCR (Selective Catalytic Reduction)** Reducción Catalítica Selectiva.
Convierte los óxidos de nitrógeno, NO_x, en nitrógeno molecular, N₂, y agua, H₂O, mediante el empleo de un catalizador y un reductor gaseoso, amoníaco, aplicado en la salida de gases del motor.
Se consume amoníaco o urea. Eventuales fugas de amoníaco deben ser controladas.
El CO₂ es un producto residual.
Es muy efectivo para NO_x, pero sólo para NO_x.
- **EGCS (Exhaust Gas Cleaning System) o Scrubbers**
Son sistemas de lavado de gases de escape. Los gases son forzados a pasar por el EGCS dónde se produce la disolución en agua, o en un medio básico (SO_x) o alcalino (NO_x).
Son efectivos en la eliminación de SO_x y PMs. Mitigan el NO_x. Consumen cal o soda caustica. Descargan



12 - Scrubber - (Shipsight.com)

sales de base S, no perjudiciales.

Son extremadamente grandes y pesados.

No eliminan otros contaminantes.

Note las dimensiones de un *scrubber* en un buque tipo Panamax, y la altura del peso agregado.

- **Recirculación de EGR** (*Exhaust Gas Recirculation*)

Reinyectando una parte de los gases de escape en la aspiración de aire, se reduce la producción de NO_x, sin embargo, se aumenta la producción de hidrocarburos no quemados, los PM y el CO₂, así como el consumo de combustible.

- **Emulsión**

El empleo de emulsificadores o de combustibles emulsificados y estabilizados, ha demostrado su eficacia mejorando el consumo y disminuyendo la producción de PMs y NO_x.

A pesar de que la reducción de PMs es bastante eficaz, la de NO_x está por debajo de los requerimientos reglamentarios.

- **GNL, propulsión a gas (LNG)**

Tanto el NO_x como SO_x, así como las PM se reducen a valores muy por debajo de los requerimientos reglamentarios más estrictos.

El CO₂ se reduce en aproximadamente un 25%/30%, pero esto es referido a la chimenea del buque, ya que se lo ventea en la planta de licuefacción, y siendo un gas de efecto invernadero, nos interesa su balance global. En todo caso, es mejor ventearlo separado que mezclado con los gases de una chimenea, ya que al menos está disponible para su recuperación y/o procesamiento cuando se disponga de un modo de recuperación o tratamiento.

GNL es la solución integral a todos los requerimientos.

1.4 GNL (LNG) – CONCEPTOS BÁSICOS

Aquí revisaremos algunos conceptos básicos del GNL:

- El GNL está reemplazando al carbón, el segundo combustible fósil más consumido en el mundo. Tiene una cadena de abastecimiento extensa y compleja.
- GNL es básicamente gas natural en estado líquido. Está compuesto por una variedad de gases, entre los que predomina el Metano, que constituye aproximadamente el 90% del total, variando algo esta cifra según el yacimiento de origen.
- Se almacena en estado líquido, en tanques aislados térmicamente, en general de acero inoxidable, a poca presión.
- Se transporta en buques metaneros y se debe regasificar para su utilización.
- El metano es combustible en concentraciones entre 5% y 15% en volumen, y explosivo si está en un espacio confinado en esas concentraciones.

- Es mucho más limpio que el resto de los hidrocarburos.
- Ha sido sometido a un proceso de licuefacción que lo lleva a -160°C y reduce su volumen unas 600 veces, lo que facilita o viabiliza su transporte.
- En el proceso de licuefacción se eliminan componentes no deseados (gases ácidos) y contaminantes como SO_x , NO_x , CO_2 , H_2S , etc.
- Desde el punto de vista de sus condiciones de almacenamiento es un combustible muy seguro. Se deben respetar los procedimientos de manejo de líquidos criogénicos.

2 EL GNL A BORDO

El uso del **GNL** a bordo impacta principalmente en tres áreas o sistemas: los **motores**, los **tanques** (carboneras) y las **plantas de gas**, también nos referiremos a la recuperación de vapores de la carga o de las carboneras. Existen por supuesto otros sistemas como lucha contra incendio, ventilación, etc. también afectadas, pero nos enfocaremos en las mencionadas.

2.1 LOS MOTORES

Como ya se mencionó, el desarrollo que dio el impulso más significativo al empleo del GNL en la propulsión naval es el concepto del **motor dual**. A pesar de que el origen se remonta a los años 80, es a fines de los 90 aparecen los primeros motores duales comerciales. Sólo en los últimos años vemos un interés mundial en estos desarrollos.

En el campo de los grandes motores lentos de dos tiempos, los primeros pasos fueron dados por MAN. Estos son los grandes motores que impulsan habitualmente a las grandes embarcaciones. Un número significativo de órdenes acompañó el lanzamiento del primer motor en 2015.

Si embargo nos concentraremos en los motores rápidos y semirrápidos del orden de los 1500 kW.

Estamos actualmente en el comienzo del desarrollo comercial global de estos motores. Los rangos de las familias de motores son aún limitados.

2.1.1 CICLO OTTO VS CICLO DIESEL

En el ciclo diésel, el aire en el cilindro se comprime por arriba del punto de inflamación antes que el gas y el DO piloto sean inyectados a muy alta presión y se produzca la deflagración. En el ciclo otto, aire y gas se combinan en la aspiración y son encendidos por el DO piloto una vez completada la compresión.

Podemos entonces decir que se trata de: **Alta presión vs baja presión**.

La diferencia en la presión de inyección afecta principalmente la complejidad de la planta de gas requerida. Alta presión = alto costo.

Las altas temperaturas requeridas por el ciclo diésel para la combustión, resultan en un mayor contenido de NO_x en la chimenea. Un motor de ciclo diésel puede requerir de algún tratamiento de los gases para cumplimentar los requerimientos de NO_x del *Tier III* del MARPOL, Anexo VI.

Por otra parte, el ciclo Otto requiere un control más preciso de la mezcla, para evitar detonaciones (mezcla pobre) o exceso de consumo (mezcla rica). Sin embargo, la tecnología actual ofrece una variedad de soluciones a este problema. El uso de cámaras de precombustión ha resultado ser de alta eficacia para concentrar allí la ignición del D.O.

Los motores de ciclo diésel se adaptan mejor a las diferentes composiciones del GNL que se dan principalmente en motores que se alimentan de los vapores provenientes de la carga.

2.1.2 2-TIEMPOS VS 4-TIEMPOS

Los motores de dos tiempos han sido tradicionalmente preferidos en los empujadores por su rápida respuesta y por la simplicidad del mantenimiento. Los motores de cuatro tiempos, sin embargo, son en general más eficientes y su tecnología ha evolucionado hacia condiciones de mantenimiento más predecibles.

Hay una gran variedad de motores ofrecidos en la gama de 4 tiempos de tamaño medio (alrededor de 1500kW), en contraste hay muy poco en el mercado de los 2 tiempos en estas potencias.

Podemos mencionar a: Yanmar, Daihatsu, Wärtsilä, MAN, Caterpillar, y otros.

2.2 LOS TANQUES

Hay dos conceptos de tanques criogénicos para LNG, los de membrana y los estructurales. De estos últimos hay tres subgrupos que describiremos a continuación:

2.2.1 TANQUES DE MEMBRANA

La membrana que forma la barrera no es autoportante, se apoya sobre la aislación que cubre la estructura. Esta diseñada de modo de absorber las grandes variaciones dimensionales resultantes de los cambios de temperatura entre ambiente y criogénica de -160° C.

El material utilizado es en general acero inoxidable o aluminio.

Normalmente trabajan a una presión de no mas de 0.25 bar, aunque en algunos casos de diseño más refinado pueden alcanzar presiones de trabajo de hasta 0.70 bar.



13 - Tanque de membrana (GTT).

Estos tanques son los típicos de los barcos metaneros (de transporte de GNL).

2.2.2 TANQUES ESTRUCTURALES

Los tanques estructurales se clasifican en 3 grupos que describimos a continuación.

Estos tanques deben soportar una aceleración de hasta 2 g en protección para el caso de una colisión.

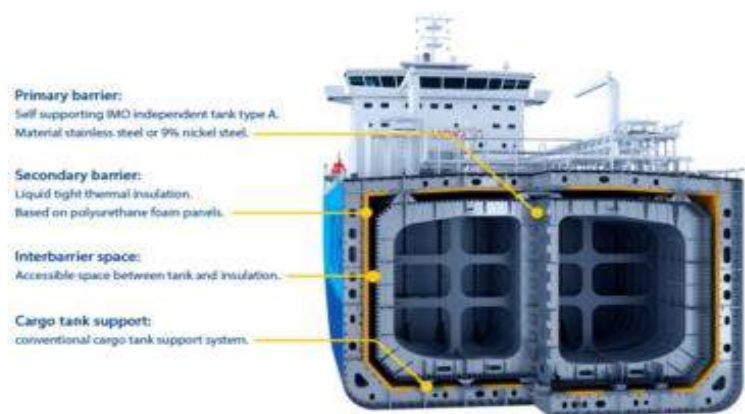
El efecto de “*sloshing*” (cargas dinámicas debida al movimiento del líquido cuando el tanque no está lleno) debe ser tenido en cuenta en los cálculos, ya que puede ser significativo.

2.2.2.1 TIPO “A”

Requieren de una barrera secundaria completa.

El diseño estructural obedece a los estándares de las reglas para tanques.

La MWAP (*Maximum Working Allowable Pressure*) máxima presión de trabajo admisible es de 0.25 bar, aunque en casos especiales puede llegar a 0.70 bar.



14 - Tanque tipo "A" (LNT)

Hay un espacio aislante accesible entre el tanque y la barrera aislante.

El material es en general acero inoxidable.

Es un tanque dentro de un tanque, con soportes internos en lugares clave para minimizar las pérdidas de calor.

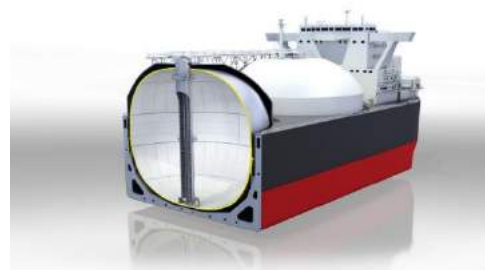
2.2.2.2 TIPO “B”

Son tanques de un diseño más sofisticado.

La geometría es generalmente cilíndrica o esférica. En la ilustración vemos una esfera con cuerpo cilíndrico que mejora la capacidad de carga.

En estos casos, solo se requiere de una bandeja de derrames.

La MWAP es igual que para los tanques “A”.



15 - Tanque tipo "B" (KHI).

2.2.2.3 TIPO “C”

Los tanques tipo “C” son auto-sustentables. Pueden ser considerados reglamentariamente como recipientes de presión.

Son tanques independientes, usualmente conformados en “C” o “D”

La MAWP es superior a 0.70 bar, limitado dentro de las posibilidades de un recipiente de presión.

En general están disponibles en ciertos tamaños, normalmente de hasta 600 m³.

Este es el tipo de tanque que más nos interesa en vista de la aplicación que explicaremos en las próximas secciones.

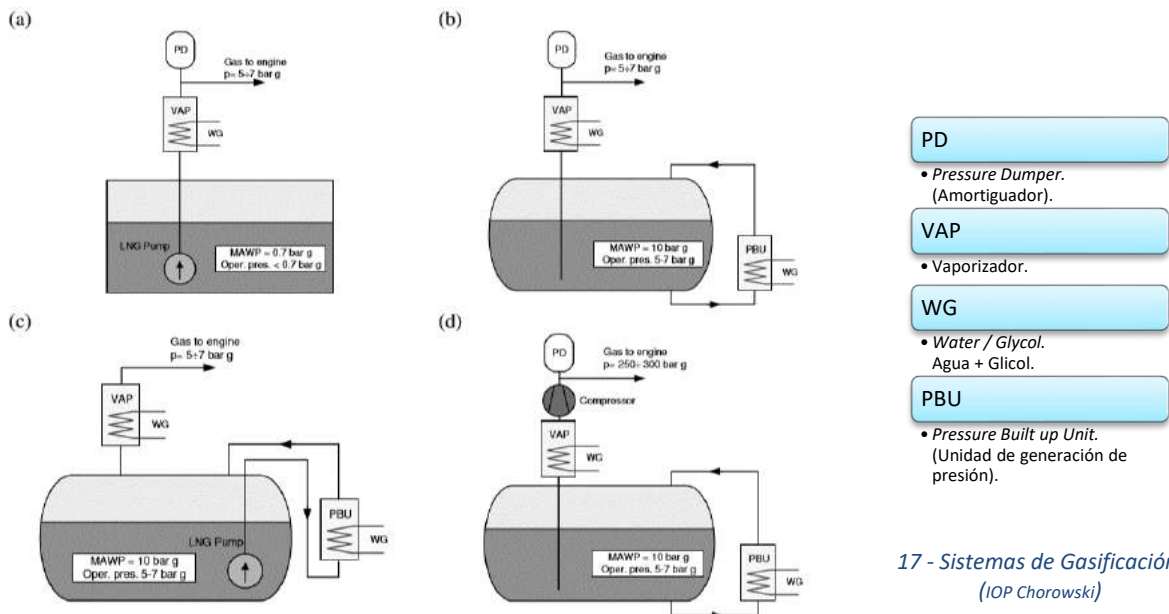


16 - Tanque tipo "C" (Gloryholder)

2.3 EL SISTEMA DE GASIFICACIÓN

Existen muchas alternativas de esquemas para el sistema de regasificación de GNL. Estas dependen del tipo de tanque, de su posición abordo, de las características de los motores, etc.

Las presentaremos juntas para una mejor comparación:



a) Con bomba:

Cuando tenemos un tanque de baja presión, (MAWP < 0.7bar), ya sea de membrana o los tipos “A” o “B”), se requiere de una bomba sumergible para bombear el líquido fuera del tanque y levantar la presión requerida por el motor.

Estas bombas son bastante sofisticadas (y caras); sin embargo, son muy confiables, y sus fabricantes reclaman que son producidas a precios cada vez más competitivos para disposiciones en las que su uso no es obligatorio.

El gas se calienta / vaporiza en el VAP, donde el calor es provisto por un fluido intermediario adecuado, como agua + glicol.

El PD es un amortiguador necesario para compensar las fluctuaciones de presión. En muchos casos, con un diseño adecuado de la tubería, se puede evitar el PD.

Este arreglo es adecuado para motores de baja presión.

b) **Por calentamiento**

En este caso el tanque permite que se produzca una cierta presión en su interior. El PBU, genera esta presión por calentamiento del GNL, vaporizándolo.

El calor se recibe a través de un WG.

El fluido es conducido fuera del tanque por simple desplazamiento hidrostático. De allí en más el sistema es similar al de a).

c) **Combinado**

Esta opción es como b), pero con el tanque en posición baja, e. g. en un doble fondo, por lo tanto, el PBU no se mantiene inundado con fluido líquido si no es mediante una bomba adecuada a este fin.

d) **Con compresor**

Este es como b), pero después del VAP un compresor eleva la presión a lo requerido por el motor, digamos 300 bar si se trata de un ciclo diésel.

Es posible hacer otras combinaciones, pero estos casos ilustran muy bien todos los conceptos básicos.

2.4 RECUPERACIÓN DE LA EVAPORACIÓN (BOIL OFF)

La recuperación del gas vaporizado es un proceso muy importante. Ventear el metano a la atmosfera, no debe ser una posibilidad en la actualidad, y no debe ser posible salvo en una emergencia, de otra forma estaríamos sacrificando nuestro principal objetivo.

Los tanques para uso marino son más propensos a sufrir pérdidas de calor que los de uso terrestre. Su complejidad estructural, derivada de las cargas estructurales que deben soportar, especialmente aquellas que aseguran su integridad en caso de colisión y aquellas decurrentes del efecto de “*sloshing*” (cargas dinámicas por superficie libre del líquido dentro del tanque), requiere de refuerzos interiores.

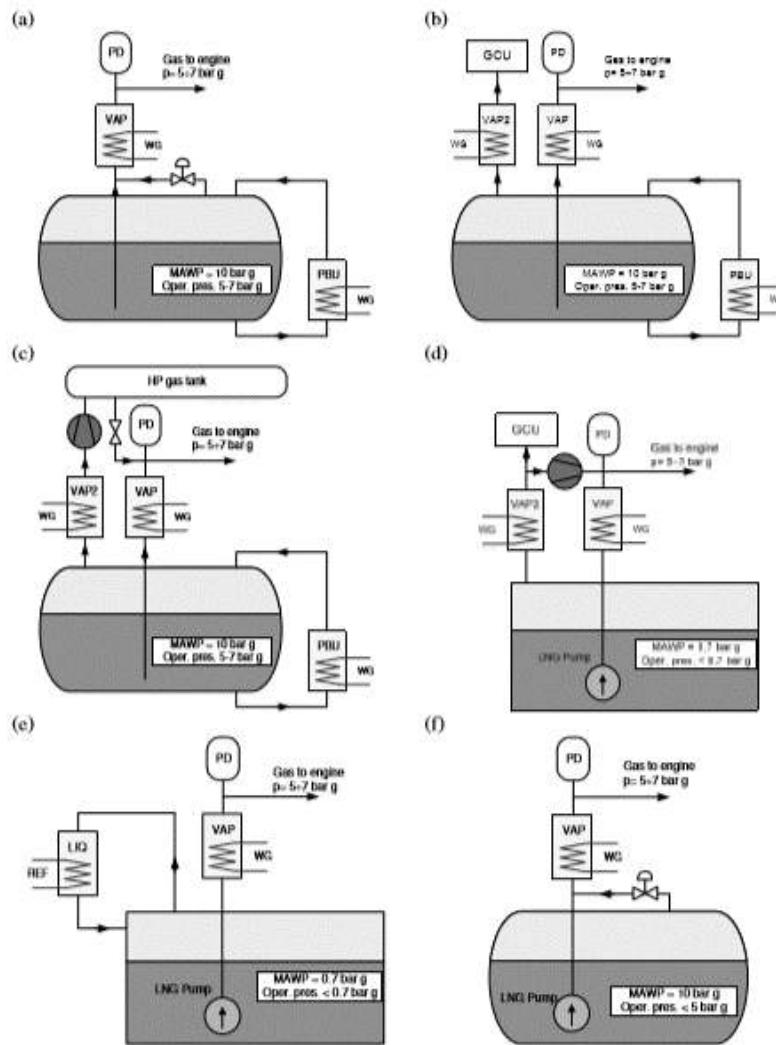
Las sociedades de clasificación exigen que en condiciones normales de operación, el tanque permanezca sin abrir su válvula de seguridad por al menos 15 días. Esto puede requerir alguna intervención, dependiendo del tipo de tanque, de las condiciones atmosféricas, etc.

Se pueden adoptar diferentes sistemas para “consumir” este gas, en general derivados de los sistemas de gas ya descriptos.

Los conceptos generales son los que se ilustran en la página siguiente y se describen a continuación:

- Consumen en los motores el vapor generado en el tanque. Requiere de los motores funcionando para consumir el gas y la presión subiendo en el tanque hasta valores altos.
- El gas se consume en el GCU. Puede emplearse para cualquier servicio a bordo; calefacción, VAP, etc.
- El vapor se comprime en un compresor y se almacena en un tanque de alta presión para después ser empleado en las máquinas.
- Es similar, pero para tanques de baja presión. Requiere un compresor.
- En este caso el vapor se licúa en un equipo criogénico, y vuelve al tanque.
- Como a) para la situación con bomba.

Un buen sistema de recuperación del vapor (*boil off*) garantiza un barco limpio y respetuoso del medio ambiente.



- PBU**
 - Pressure Built Up Unit.
 - Unidad de elevación de presión.
- GCU**
 - Gas Combustion Unit.
 - Unidad de Combustión de Gas.
- REF**
 - Cryogenic Cooler.
 - Enfriador Criogénico.

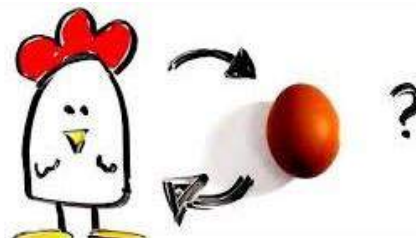
18 - Sistema de recuperación de vapores (Boil off)

- PD**
 - Pressure Dumper.
 - Amortiguador.
- VAP**
 - Vaporizador.
- WG**
 - Water / Glycol.
 - Agua + Glicol.

3 IMPLEMENTACIÓN DEL USO DE GNL EN LA REGIÓN

3.1 INTRODUCCIÓN

A efectos de revisar las mejores opciones para desarrollar el uso del GNL en la región, nos referiremos a un artículo publicado en el año 2015 titulado “GNL, el combustible para recuperar la Hidrovía”. En él evaluamos porqué este combustible podría permitir que Argentina reconstruya su histórica flota fluvial y concluimos que se trata del **dilema del huevo y la gallina**.



Habíamos señalado entonces lo siguiente:

- ♦ El **desarrollo del uso del GNL** en toda la cuenca y su potencial expansión a otros tráficos como el cabotaje nacional y regional y la pesca requiere de **importantes inversiones en estudios y planes** que son difíciles de encarar sin la intervención de los estados.
 - ♦ La **adopción por parte de los armadores de esta tecnología** requiere de su conversión al empleo de unidades nuevas y de alta tecnología.
Se deben facilitar las inversiones iniciales mediante apoyo crediticio adecuado
 - ♦ Se debe contar con un **reaprovisionamiento de GNL** en condiciones razonables tanto operativas como de costos.
Sin limitaciones estacionales, con **previsibilidad** en cuanto a precio (especialmente respecto del DO) y prestación.
 - ♦ El **programa MARAD de USA** que destina 900 000 USD en subsidios para promover las conversiones de buques a GNL, apunta a crear una **base de datos** que facilite futuras conversiones.
 - ♦ El **Plan Maestro Europeo** para la cuenca Rin-Mosa-Danubio estudio la implantación del GNL en forma integral, y dispuso a este efecto de 34 millones de euros. Este plan puede ser utilizado como base

Estos enunciados permanecen válidos hoy, las necesidades persisten, las cuestiones financieras son las mismas, la conclusión es la misma; la **necesidad de un plan maestro para organizar nuestro desarrollo regional**.

3.2 REMOLCADORES DE EMPUJE

Los remolcadores de empuje son la clave para la implementación del uso del GNL en la región.

¿Por qué remolcadores de empuje?

Las razones principales son 4:

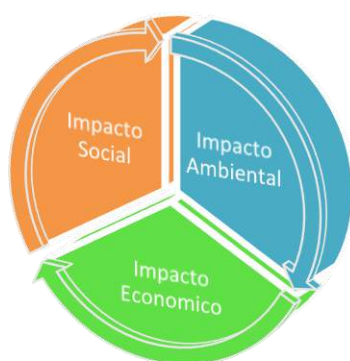
- ♦ **Disponibilidad de espacio en cubierta.**
Los remolcadores no tiene la cubierta ocupada con carga, grúas o redes, ella

está completamente disponible para ubicar los tanques de gas. Esto hace el diseño más sencillo al no requerir colocar los tanques bajo cubierta, con el consiguiente aumento de su costo y de los requerimientos de seguridad en las áreas contiguas, simplificando inclusive el sistema de gasificación.

- ♦ **Pequeño impacto de las dimensiones principales en el diseño.** Se las puede ajustar en el tablero sin inconvenientes, para adecuarse a los requerimientos del proyecto. El remolcador que se muestra en este ítem tiene autonomía para un viaje redondo Zárate - Corumbá (más de 7500 km) con margen adecuado, en una única carga de GNL.
- ♦ **Fuerte impacto del uso de combustible en los costos operativos.** Comparado por ejemplo, con un remolcador portuario para el que el combustible tiene una incidencia menor en los costos, en un remolcador de empuje el combustible resulta de gran importancia.
- ♦ **No tiene problemas de estabilidad.** Los requerimientos de estabilidad debidos al emplazamiento de los tanques en altura se pueden atender muy fácilmente con pequeños cambios en las dimensiones.

3.3 IMPACTOS EN LA REGIÓN

El uso de GNL en la Hidrovía Paraguay Paraná tiene tres áreas de impacto principales:



- ♦ **Medio Ambiente:**

Significará una mejora muy importante en las condiciones ambientales de nuestra principal cuenca, especialmente en las riberas.

- ♦ **Economía:**

Establecerá mejoras de las condiciones económicas, principalmente la reducción del OPEX, que deben permitir recuperar la HPP como un eficiente



y barato sistema de transporte de los productos de la región hacia los puertos de exportación.

♦ **Social:**

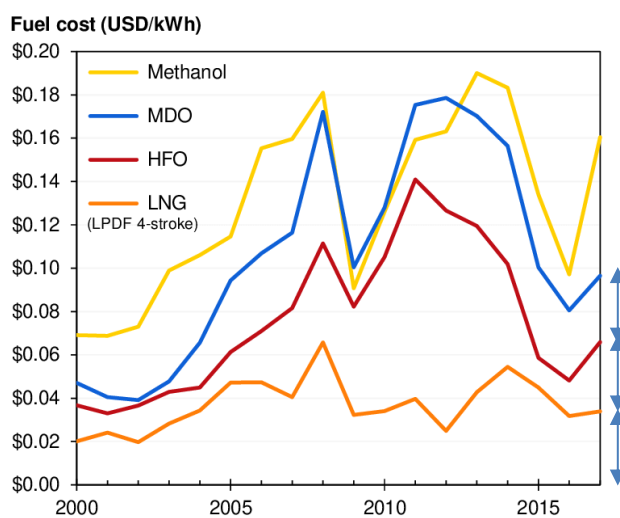
El plan de renovación de la flota creará muchos empleos de calidad en los astilleros. Lo mismo ocurrirá con los empleos en la marina mercante, los que aumentarán no sólo en número, sino también en calidad. Las condiciones de vida a bordo deberían mejorar también considerablemente.

3.4 DISPONIBILIDAD

- ♦ **El gas natural es abundante en nuestro país.** El yacimiento de “Vaca Muerta” es el segundo mayor del mundo y el único de este tipo en producción fuera de los EE UU.
- ♦ Actualmente tenemos una planta flotante de **regasificación y almacenamiento** en una posición clave al sur de la HPP.
- ♦ Tenemos **gasoductos** a lo largo de la HPP en toda la sección de soberanía argentina hasta Reconquista.
- ♦ Con el gas disponible en gasoductos, no sólo en la HPP, pero también a lo largo de toda la costa Atlántica, sería posible instalar plantas de **licuefacción en cualquier localidad** que lo requiera.

3.5 COSTOS

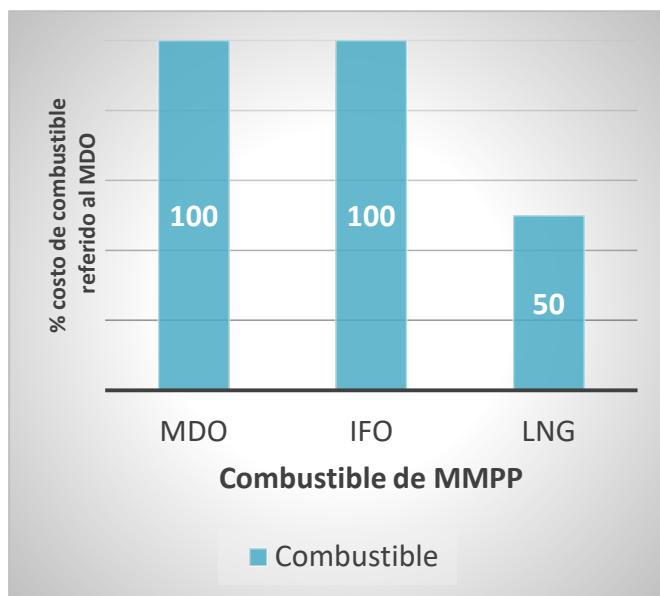
Los costos mundiales de los diferentes combustibles han sido presentados por la Secretaría de Energía de los EE. UU. en el siguiente gráfico.



21 - Costos Internacionales de combustibles
(Sec. de Energía de EE. UU.)

En 2016 la relación entre los costos de GNL, IFO y MDO fue de aproximadamente 1/3, 1/3, 1/3 en términos comparables.

La relación de costos operativos utilizando diferentes combustibles es a la que se muestra en el gráfico:



22 - Costos de Combustibles

Los costos del MDO y del IFO se pueden nivelar, dependiendo de los precios, esto es debido a cuestiones técnicas de la planta.

El costo del operativo del GNL (excluidas las amortizaciones), se estima en un 50% del de DO. Esta relación es sin duda muy significativa. Impactará diferentemente en los costos totales, dependiendo de la composición de los costos de cada bandera. En la bandera argentina, esta incidencia es menor debido al alto costo de las tripulaciones y de los impuestos.

Otro aspecto muy importante del costo es el **robo de combustible**. Este es un componente muy importante del costo que no hemos podido cuantificar.

En MDO es muy alto, en IFO es pequeño, **con GNL sería nulo**.

3.5.1 OPERACIÓN

- ♦ La operación de una planta propulsora basada en LNG requerirá de personal embarcado de la más alta calificación. Todo este personal deberá ser especialmente entrenado y supervisado.
- ♦ Estas demandantes condiciones de trabajo elevan el nivel general de todos los participantes en la operación. En el programa europeo, se han creado centros de entrenamiento para el personal embarcado y de tierra.
- ♦ El acceso de personal “idóneo”, sin una adecuada formación, quedará muy limitado o será casi excluido.
- ♦ En este aspecto nos referimos a la experiencia de YPF con sus estaciones de regasificación, en las que el nivel general de toda la tripulación ha sido elevado a los niveles más altos de calificación. El entrenamiento para desarrollar una tarea compleja hace que el individuo mejore el desempeño en todo su trabajo en general.
- ♦ Los costos de operación bajarán con la acumulación de experiencia. Esta mención es resultado de la observación.

3.5.2 MEDIO AMBIENTE

3.5.2.1 ¿QUÉ TENEMOS?

- ♦ La mayoría de **los motores** en uso actualmente en propulsión en la Hidrovía, **no cumplen con ningún requerimiento** de emisión de gases.
- ♦ La **importación de unidades usadas** viene acompañada de la introducción **motores de antigua concepción y en dudoso estado** a nuestro medio ambiente.
- ♦ Si dicha importación no se acota en el tiempo, o no se prohíbe definitivamente, **estos motores continuarán contaminando por varias décadas**.
- ♦ Hasta ahora **no contamos con una reglamentación** que regule la **contaminación atmosférica** en la HPP.

3.5.2.2 ¿QUÉ HACEMOS?

- ♦ La última generación de motores de Diesel Oil que están siendo introducidos en la HPP, sólo atiende los requerimientos del Tier II de la convención MARPOL en cuanto a emisiones gaseosas.
- ♦ Los motores de combustible pesado, IFO, no alcanzan siquiera este requerimiento.
- ♦ Estos combustibles líquidos, además de lo considerado respecto de la contaminación atmosférica, presentan un riesgo permanente de contaminación por derrame, especialmente el IFO. La mayoría de los remolcadores no tiene doble casco.

3.5.2.3 ¿QUÉ PODEMOS HACER?

- ♦ El **GNL supera ampliamente a ambos combustibles mencionados**, en todos los aspectos relacionados con la protección del medio ambiente, cumpliendo inclusive con el Tier III del Anexo VI de Marpol.
- ♦ Es necesario Reglamentar. Los armadores deben tener reglas que emparejen los requerimientos para todos los jugadores de modo de poder ser competitivos.

La razón principal por la cual la marina mercante mundial está cambiando motores y combustibles, **es por la obligación que impone la reglamentación.**

3.6 FACTORES CONTRIBUYENTES A LA IMPLEMENTACIÓN

Actualmente, un número importante de factores contribuye a la implementación del uso de GNL en la Argentina:

La Secretaría de Energía ha declarado el uso del GNL en propulsión como una política del área, así como el desarrollo del uso de GNL en áreas no servidas por gasoductos.

La Subsecretaría de Hidrocarburos ejecuta este programa con una activa promoción de las medidas necesarias.

YPF, la petrolera nacional, es parte del programa y ha expresado firmemente su interés en distribuir e instalar estaciones de reaprovisionamiento (*bunkering*).

La Secretaría de industria trabaja en facilitar el acceso a las fuentes de financiamiento. El forma parte de la agenda de la Comisión Asesora de la Industria Naval, órgano de ley que entiende en las cuestiones de la industria.

El BID está involucrado en el desarrollo del uso de GNL en la región, habiendo presentado recientemente estudios al respecto.

Los gobiernos provinciales hay manifestado mucho interés en el programa.

Existen al menos tres proyectos de remolcadores de empuje a GNL en diferentes grados de avance impulsados por intereses privados, del estado y sindicales.

3.6.1 TRES PROYECTOS

Desde el punto de vista de nuestra industria, el programa comprende en esta instancia, tres proyectos que se potencializan entre sí:

- ◆ La construcción de remolcadores de empuje de GNL.
- ◆ La construcción de barcazas de GNL.
- ◆ El transporte de GNL por la HPP.

3.6.2 PLAN MAESTRO

La Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires ha propuesto la preparación de un Plan Maestro.

El Plan cubre todos los aspectos relativos a la disponibilidad, transporte consumo y distribución del GNL en la región

Plantea estudiar la situación presente y las proyecciones.

Evalúa las tres áreas de impacto antes mencionadas; medio ambiente, economía y social.

La propuesta incluye la metodología para asegurar una composición uniforme de la base de datos e informes coordinados de todas las disciplinas involucradas.

A continuación, citaremos los títulos de la propuesta temática para ilustrar el alcance del estudio formulado:

3.6.2.1 GNL EN LA PROPULSIÓN

- ◆ La Vía
 - Descripción general.
 - Características salientes.
 - Condiciones de operación.
 - Condiciones futuras.
 - Mejoras esperables.

- ◆ La Carga
 - Tipos:
 - Graneles.
 - Minerales.
 - Líquidas.
 - Contenedores.
 - Otras.
 - Modos:
 - Fluvial/barcazas.
 - Fluvial/autopropulsados.
 - Ferrocarril.
 - Camión.
 - Proyecciones:
 - GNL
- ◆ La Flota
 - Existente:
 - Argentina.
 - Extranjera.
 - Su condición y características.
 - Embarcaciones de GNL:
 - Características.
 - Capacidad de construcción local.
- ◆ Los Equipos
 - Motores
 - Tipos
 - Equipos de manejo del Gas.
 - Almacenamiento de GNL a bordo.
 - Disponibilidad,
 - financiación,
 - respaldo.
 - Capacidad de construcción local.
- ◆ El G.N.L
 - Disponibilidad.
 - Lugares más adecuados (para estaciones de carga):
 - Aguas abajo.
 - Aguas arriba.
 - Mejores modos de abastecer terminales.

3.6.2.2 IMPACTOS

- ◆ IMPACTO ECONÓMICO
 - Costos de Infraestructura
 - Plantas de licuefacción.
 - Conexión a Gasoductos.
 - Muelles.
 - Costos de Equipamiento, CAPEX.
 - Remolcadores.
 - Embarcaciones de aprovisionamiento de GNL.
 - Costos Operativos OPEX.
 - Formación del Precio de GNL abordo.
 - impuestos.

- Condiciones aduaneras/rancho.
- Costos de tripulación.
- Proyecciones.
- Financiación.
 - Créditos Internacionales de fomento.
 - Créditos Locales.
 - Esquema Impositivo.
 - Tasas de Importación.
 - Otras Ventajas: Leyes de Promoción etc.
- Nuevos Negocios
 - Actividad Oil & Gas
 - Captación fletes Hidrovía PP
 - Producción Regionales, mejora en precios relativos por menor flete
 - Actividad de la Industria Naval.
 - Transporte de GNL para consumo; Ventajas relativas.
- ◆ **IMPACTO AMBIENTAL**
 - Combustible.
 - Diesel e IFO vs GNL.
 - Combustible limpio/bajas emisiones.
 - Tecnologías Asociadas.
 - Mejoras hidrodinámicas:
 - Carenas
 - Hélices
 - Mejoras al gobierno.
 - Otras mejoras.
- ◆ **IMPACTO SOCIAL**
 - Industria Naval.
 - Tripulaciones.
 - Población:
 - Portuaria
 - Ribereña

3.6.2.3 DISTRIBUCIÓN DE GNL AL NEA

- ◆ **OFERTA**
 - Disponibilidad en la cuenca.
 - Gasoductos.
 - Bahía Blanca.
- ◆ **CONSUMO**
 - Nacional
 - Áreas urbanas
 - Polos Industriales.
 - Exportación
 - Regional.
 - Corredor bioceánico.
- ◆ **DISTRIBUCIÓN Alternativas**
 - Barcazas de GNL.
 - Contenedores ISO.
 - Camión.
 - Ferrocarril.

- Combinaciones.
- Gasoductos:
 - NEA
 - Bolivia Brasil.
- ◆ Impacto Ambiental
 - Según forma de transporte

3.6.2.4 MARCO NORMATIVO

- ◆ CONSTRUCCIÓN de los REMOLCADORES
 - Construcción de las embarcaciones.
 - Los equipos de Gas abordo.
- ◆ CONSTRUCCION de las BARCAZAS
 - Construcción de las embarcaciones.
 - Los equipos de Gas abordo.
- ◆ OPERACIONES de CARGA y DESCARGA
 - Respecto de la embarcación.
 - Respecto de la instalación flotante o en tierra.
 - Planes de Contingencia.
- ◆ CAPACITACIÓN
 - Personal embarcado.
 - Personal de tierra.

3.6.2.5 METODOLOGÍA

- ◆ BASES DE DATOS
 - Deben cubrir lo necesario para planificar las políticas y orientar a los inversores.
 - Los datos deben ser confiables, de fuentes fidedignas.
 - La presentación será; sistemática, analizada mediante gráficos y esquemas.
- ◆ RECOMENDACIONES
 - Debe proponer caminos alternativos para el desarrollo del proyecto.
 - Debe evaluar la conveniencia de promover el desarrollo de prototipos.
- ◆ CONCLUSIONES
 - Tipos de equipos a utilizar.
 - Emplazamientos de estaciones de recarga.
 - Conveniencia de promover un Cluster Tecnológico de GNL.
 - Nuevos Negocios esperables.

Esta es una propuesta abarcativa, que requiere la intervención y consulta de diferentes organismos e institutos tales como: ENARGAS, PNA, CEARE, IGP-UBA, etc. El proyecto puede ser encarado de diversas formas. La Universidad de Buenos Aires ya promueve la orientación de tesis multidisciplinarias en estas disciplinas, que en su momento podrán transformarse en aportes al proyecto.

La falta de buenas estadísticas y de registros confiables plantea un desafío que puede ser superado en esta instancia con cooperación con otras casas de estudio en la región.

3.7 PROTOTIPOS

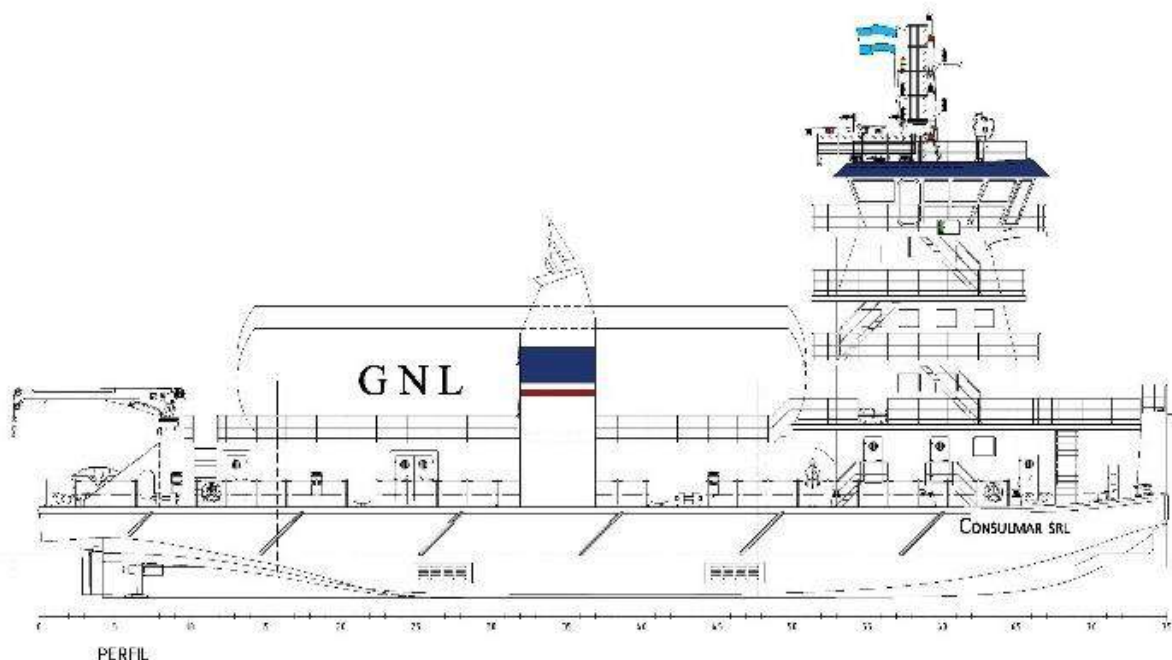
3.7.1 ¿POR QUÉ UN PROTOTIPO?

El prototipo proveerá información en áreas tales como:

- ♦ Técnica
 - Confirmar el sistema ideal de gasificación.
 - Confirmar la correcta selección del tipo y número de tanques de combustible.
 - Controlar el desempeño del combustible.
 - Verificar la eficiencia de las mejoras introducidas en gobierno, hidrodinámica, etc.
- ♦ Economía
 - Controlar todas las variables contra las predicciones.
(Números en las predicciones contra números en el balance).
- ♦ Recursos humanos
 - Entrenamiento de la tripulación. Establecer dificultades.
 - Entrenamiento del personal terrestre.
- ♦ Producción
 - Ajuste de parámetros de producción para avanzar hacia una producción semi seriada.

3.7.2 REQUERIMIENTOS PARA EL PROTOTIPO

El prototipo NO es un remolcador del Mississippi de los 50, convertido a gas.



23 - Remolcador de Empuje de GNL, por Consulmar SRL

Una de las grandes ventajas de la renovación de la flota es la posibilidad de mejorar significativamente el desempeño del remolcador. Esto significa NO SÓLO convertir el remolcador a GNL, sino además REDUCIR SIGNIFICATIVAMENTE EL CONSUMO. Esta

reducción es aquella que nos dará una sensible merma en la producción de gases de efecto invernadero adicionalmente a la reducción de emisiones.

Recorramos los ítems principales en los que se pueden hacer mejoras significativas, de popa a proa:

- ♦ **Timones**

Hay mejoras muy importantes en el diseño de los timones que afecta, no sólo el desempeño hidrodinámico del propio timón, directamente relacionado con su resistencia y por tanto con el consumo, sino también y principalmente a aquel relacionado con la mejora del gobierno.

Mejores características de gobierno permiten desempeñarse mejor en cada curva del río, siguiendo caminos más cortos, sin perturbar el régimen de marcha de los motores, resultando en un consumo menor de combustible. En el caso de nuestros ríos, que a diferencia del Mississippi o del Rin casi no han sido intervenidos, las curvas son abundantes y este fenómeno es por lo tanto de gran importancia.

- ♦ **Hélices / Toberas**

Las hélices Kaplan han demostrado ser una muy buena opción para caballos de trabajo como los remolcadores de empuje, o los arrastreros, sin embargo, la tecnología ha evolucionado, y hay mejoras a ser introducidas; hélices con más área de pala en el lugar adecuado, con menor tendencia a las vibraciones. Pequeños cambios que agregar al canasto.

- ♦ **Timones de Retroceso (Flanking rudders)**

Los timones de retroceso son un dolor de cabeza para un ingeniero naval. Perturban el flujo hacia las hélices tanto, que cualquier cosa que se pueda hacer para mejorar esta situación, o mejor aún, para eliminarlos, es bienvenida.

Hay una propuesta interesante de un astillero holandés, que los reemplaza por aletas retráctiles. Parece un sistema inteligente y simple. También hay posibilidades de eliminarlos mediante un rediseño radical del sistema de maniobra.

- ♦ **Ejes, sellos, cojinetes.**

Estos ítems, bien diseñados, no impactan en el consumo de combustible, pero sí en la cuenta del mantenimiento.

Vemos remolcadores de empuje saliendo a seco sólo para reemplazar bujes, o con menor frecuencia, sellos. Esto no es aceptable. Vemos sistemas que resultan ser una colección de opiniones emitidas por superintendentes, capataces de astillero, inspectores, etc. a lo largo de la vida de la embarcación. Nosotros, los ingenieros navales, debemos diseñar un sistema seguro, de desempeño satisfactorio, que no requiera intervención fuera de los intervalos

regulares de inspección en seco. El mercado provee una cantidad de dispositivos de gran calidad, adecuados para los ambientes agresivos en los que nos toca desenvolvemos.

♦ **Apéndices de Casco**

La obra viva en la popa de algunos remolcadores parece un árbol de navidad cuando la observamos en seco. Esto es dinero en la cuenta del combustible. Las líneas de popa deben ser tan limpias como sea posible. Cualquier ítem ubicado en esta área, debe ser estudiado por el ingeniero naval responsable del desempeño hidrodinámico de la carena. Un intercambiador de calor mal ubicado puede resultar muy caro a lo largo de la vida del remolcador. Si no hay una buena ubicación, hay substitutos adecuados para este elemento. Lo mismo vale para tomas de mar, pies de gallo, etc.

♦ **Líneas de la popa**

Las líneas de los remolcadores de empuje son una herencia de la industria de construcción de barcasas. Se ha demostrado la mejora significativa que se puede obtener dirigiendo el flujo de agua sin perturbaciones hacia en disco de la hélice. Esto se puede lograr sin dificultarle la vida al astillero a la hora de construir bloques conformados.

El resultado en este ítem tiene un impacto directo y significativo en la cuenta del combustible

♦ **Estructura**

El diseño estructural de un remolcador de empuje es bastante simple, principalmente porque se construye en un astillero que construye barcasas. Tenemos instrumentos hoy en día para calcular más allá de las reglas básicas propuestas por las clasificadoras muy accesibles para todo ingeniero de la especialidad. Las popas no deben vibrar, las estructuras deben ser ligeras y más seguras.

♦ **Acomodación**

Las condiciones de vida de la tripulación deben ser mejoradas. Estas embarcaciones tienen mucha potencia y poca masa, por lo tanto, tienen tendencia a vibrar. Tenemos hoy todos los medios para mejorar significativamente la vida abordo, con un diseño escrupuloso. Los tripulantes no deben ser condenados a vivir en condiciones que pueden haber sido aceptable en los años que siguieron a la Primera Guerra Mundial.

♦ **Puente de Navegación**

El puente de navegación debe tener amplia visibilidad, de 360 grados, y hacia abajo hacia las áreas de maniobra de la cubierta. La información debe ser amplia y fácilmente disponible para el Capitán y sus oficiales; pantallas de radar especiales para navegación fluvial, cartas electrónicas, comunicaciones, todo al alcance de la mano con buenos datos de máquinas, timones, etc.

Esta tecnología no es especial, y está disponible en el mercado. No hay razón para no incorporarla mejorando la seguridad del sistema y la vida de los oficiales.

4 CONCLUSIONES

- El GNL es la **tendencia mundial**, otros medios de propulsión menos contaminantes no ofrecen autonomía adecuada, son caros o están lejos de estar disponibles en escala comercial.
- Las **poblaciones ribereñas** son las principales **víctimas de la contaminación** producida por las embarcaciones fluviales. Tenemos los medios para evitarles este daño.
- Ya estamos siendo requeridos para **proveer de LNG a embarcaciones que operan en nuestras aguas**. No sólo debemos satisfacer esta demanda, sino que **debemos incentivarla**. Debe ser **ventajoso surcar nuestras aguas con buques limpios**.
- El cambio mundial ha sido fundamentalmente motorizado por la exigencia de los convenios internacionales. No seamos tan **ingenuos** de pensar que en la región podremos imponerlo **sin una fuerte y estricta reglamentación**.
- El camino para arrancar cualquier programa para el uso de GNL abordo, debe **iniciarse** en nuestro país con los **empujadores en el río**. Son las embarcaciones más sencillas de adaptar a esta tecnología. En ellas aprenderemos y podremos incorporar esta tecnología.
- La Argentina debe saber aprovechar su situación privilegiada respecto del GNL.
- Es importante producir **prototipos** para alcanzar la **mayor eficiencia** en el diseño de las **grandes series** que vendrán a continuación.

La mejor forma de REDUCIR los gases de efecto invernadero, es NO producirlos.