

## EL CAMBIO CLIMÁTICO Y LOS NUEVOS MOTORES MARINOS

Raúl Cancino Díaz\*

### Resumen

*El autor hace un recuento de su experiencia como miembro de un grupo naviero chino-alemán, entre 2014 y 2017, que decidió tomar la iniciativa y ser pionero en los cambios necesarios para ayudar a reducir los efectos de las emisiones, impulsando el empleo de motores diésel de dos tiempos, que pudiesen quemar Gas Natural Líquido (GNL), iniciando un plan de construcción de ocho portacontenedores propulsados con este tipo de motores. Hoy esta apuesta ya es una realidad y el mundo naviero ya considera, como una de las armas claves para enfrentar el problema de la contaminación del aire proveniente de los buques, el cambiar la quema de petróleo por GNL.*

**Palabras clave:** Calentamiento global, GEI, GNL, Acuerdo de Paris.

El calentamiento global y sus efectos han impulsado a la industria naval, a través de la Organización Marítima Internacional (OMI), a imponer ciertas restricciones en lo que respecta a la emisión de gases de descarga provenientes de la quema de combustibles fósiles en los motores de combustión interna, tanto para la propulsión, como para la generación de energía eléctrica; en las calderas auxiliares utilizadas para la calefacción de petróleo y de los espacios de habitabilidad; y en la quema de residuos a través del uso de incineradores.

La OMI, a contar de 1997, incorporó el Anexo VI, al Convenio Internacional para prevenir la contaminación que proviene de los buques (MARPOL); que son las reglas para prevenir la contaminación atmosférica, las que finalmente entraron en vigencia, el 19 de mayo de 2005.

A contar del año 2011, se establecieron las llamadas Áreas de Emisión Controlada o ECAs (por su sigla en inglés: *Emission Controlled Areas*),

en donde se incorporaron el mar Báltico, el mar del Norte, las zonas costeras de Canadá y los EE.UU. de Norteamérica; e islas del Caribe estadounidense, como Puerto Rico y las Islas Vírgenes. Las restricciones están principalmente orientadas a las emisiones de óxidos de azufre (SOx) y óxidos nitrosos (NOx).

En los últimos cinco años, el Comité de Protección del Medioambiente Marino de la OMI (MEPC) ha comenzado a trabajar en políticas sobre la emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI).

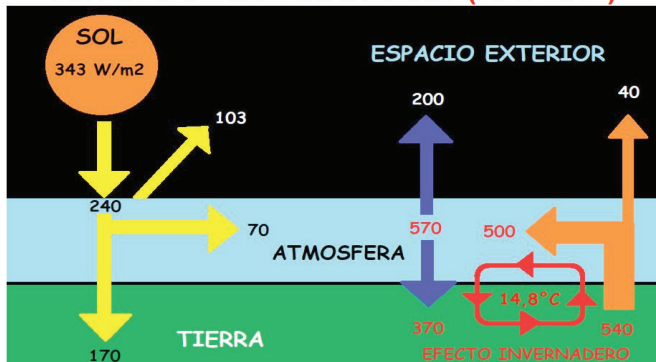
Todo ello ha llevado a la industria naval a buscar ideas respecto de la quema combustibles fósiles y de cómo reducir las emisiones a la atmósfera.

### El efecto invernadero y el calentamiento global

El Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), a fines del año 2014, a través de una carta de su presidente, confirmó la existencia de

\* Ingeniero Naval Mecánico, Arquitecto Naval, Ingeniero Oceánico (MIT); Director de Ingeniería - Grupo Guoyu – China; Director de Ingeniería y Operaciones Navieras - Nordic Hamburg – Hong Kong; Director Técnico - GNS (Guoyu Nordic Shipping) – Shanghai. (rcancino@sisdef.cl).

## EL EFECTO INVERNADERO (EI o GHE)



■ Diagrama efecto invernadero.

evidencia abrumadora que señala que nuestro planeta ha aumentado su temperatura, desde la era pre-industrial hasta nuestros días, en aproximadamente 0,8°C y que este cambio está directamente asociado a la actividad humana, que se manifiesta en la emisión de GEI. Por otro lado, la demanda mundial por energía va a crecer en un 60% para el año 2050, generando que el calentamiento del planeta aumente aún más, lo que conducirá a migraciones no planificadas, alta competencia por agua y alimentos, y fuertes conflictos sociales.

Se ha determinado que un calentamiento de alrededor 2°C por sobre los niveles pre-industriales marca un umbral, a partir del cual los daños a las sociedades y los sistemas naturales se tornan peligrosamente graves.

La búsqueda de protección frente a este riesgo, se conoce hoy como el desafío de los 2°C. Para evitar que se llegue a este umbral, las emisiones generadas por la actividad humana, es decir principalmente las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) producto de la quema de combustibles fósiles, deberán disminuir drásticamente para el año 2050 y eventualmente para ese año, debieran ser prácticamente cero. Ante ello, el mundo necesita de un plan de transición que sea agresivo y a la vez práctico, para así llegar a tener un sistema energético global de carbono cero.

En este contexto, el MIT ha estado colaborando permanentemente con la industria para resolver

este complejo problema, apoyando en el desarrollo de tecnologías de bajo carbono y de carbono cero, de tal forma que se puedan alcanzar soluciones con energías limpias y que éstas puedan llegar al mercado de una manera más rápida. El instituto también ha estado trabajando con los gobiernos de varios países en procesos que permitan acelerar el progreso en el tema climático.

El llamado efecto invernadero, corresponde al proceso mediante el cual la radiación que genera la atmósfera de un planeta, calienta la superficie a una temperatura por sobre de aquella que tendría si no existiera la atmósfera.

Si la atmósfera de un planeta contiene gases radiantes activos (los llamados gases de efecto invernadero), éstos irradiarán energía en todas direcciones. Parte de esta radiación se dirigirá a la superficie, calentándola. La intensidad de esa radiación, dependerá de la temperatura de la atmósfera y la cantidad de GEI que ella contenga.

El efecto invernadero natural del planeta Tierra, es crítico para permitir la vida en él. Actividades humanas, tales como la quema de combustibles fósiles y la eliminación indiscriminada de los bosques han aumentado el efecto invernadero (más cantidad de GEI en la atmósfera) con el consiguiente calentamiento global.

El término efecto invernadero proviene de una analogía errónea con respecto al efecto de la luz solar pasando a través del vidrio de un invernadero, donde la manera en que éste retiene el calor, es fundamentalmente por la reducción del flujo de aire, de tal forma que el aire cálido se mantiene en el interior.

Lo que en verdad ocurre, en el caso de la Tierra, es que recibe la energía proveniente del Sol, en forma de radiación ultravioleta, visible e infrarroja. Cerca del 26% de esta energía es reflejada por la atmósfera hacia el espacio exterior, 19% es absorbida por la atmósfera y el 55% restante es absorbida por la

superficie terrestre. Como la superficie de la Tierra es más fría que el Sol, ésta re-irradia la energía en largos de onda mayores a los largos de onda que los de la radiación absorbida, y por lo tanto toda esta radiación térmica es finalmente absorbida por la atmósfera a través de los GEI presentes en ella, como el CO<sub>2</sub>, y la calienta. La atmósfera a su vez, irradia energía en ambas direcciones (hacia el espacio exterior y de vuelta hacia la superficie de la Tierra), haciendo que en la superficie de la Tierra se establezca un equilibrio térmico a una temperatura mayor, comparada con el caso de que no hubiera atmósfera. La temperatura de equilibrio promedio de la superficie de la tierra es de 14°C y debido al calentamiento global, generado por el aumento de los GEI, hoy se está acercando a los 15°C.

#### ■ Acuerdo de París

El 12 de diciembre de 2015 se establece el Acuerdo de París, que es adoptado por 195 países. El 22 de abril de 2016 el acuerdo se abre para la firma y hasta el 3 de noviembre de 2016, 97 países habían firmado lo que indica que el acuerdo queda ratificado, puesto que el reglamento establecía que el acuerdo quedaría ratificado si firmaban más de 55 países.

El 1 de junio de 2017, EE.UU., bajo la administración de Donald Trump, se retiró del acuerdo.

### Un proyecto innovador

Impulsados por la situación descrita y considerando que en el Mar Báltico, para el 1 de enero de 2015 entraban en vigencia nuevas regulaciones respecto de las emisiones de los gases de descarga provenientes de los buques, un conjunto de empresas formadas por *Arkon* de Alemania, *Containerships* de Finlandia, *Guoyu Group* de China y *Nordic Hamburg* de Alemania; decidieron en el 2014, poner en marcha un plan para construir una serie de ocho buques portacontenedores, con una tecnología adecuada para disminuir las emisiones y cumplir con las nuevas regulaciones para el Mar Báltico.

*Arkon* es una empresa alemana de servicios navieros, responsable de 126 buques, que operan globalmente, quien a través de su línea de servicios de corretaje de naves y fletamento, invitó a

*Containerships*, empresa finlandesa de servicios de transportes puerta a puerta, dueña de 15 buques portacontenedores, una flota de centenares de camiones para transporte multimodal, miles de contenedores en todas las medidas estandarizadas para Europa y administradora de decenas de terminales navieros, distribuidos en los principales puertos europeos; para que incursionaran en una apuesta innovadora para contar con buques portacontenedores de una nueva generación, capaces de cumplir con todas las regulaciones de emisiones para operar en el Mar Báltico. Ellos encargaron a *Nordic Hamburg*, una empresa alemana de servicios de administración naviera y desarrollo de proyectos de construcción naval, con presencia en China, para que coordinara con su socio estratégico chino, *Guoyu Group*, la materialización del proyecto.

Para el diseño, se incorporó a la empresa holandesa *SMB Naval Architects & Consultants*.

Las alternativas disponibles para reducir las emisiones eran las siguientes:

- Uso de depuradores o *scrubbers* (catalizadores) en las descargas de gases.
- Utilizar combustibles ultra bajos en azufre ULSMGO (*Ultra Low Sulfur Marine Gas Oil*).
- Usar motores de combustión interna que pudiesen quemar Gas Natural Líquido (GNL).

Los depuradores sólo reducen la emisión de óxidos de azufre (SOx) y el Material Particulado (MP), pero poco hacen respecto del CO<sub>2</sub> mientras que el uso de combustibles bajos en azufre únicamente reducen la emisión de SOx. A diferencia de los anteriores, el GNL reduce la emisión de CO<sub>2</sub> cercano a la mitad y prácticamente elimina las emisiones de óxidos de azufre (SOx) y de óxidos nitrosos (NOx).

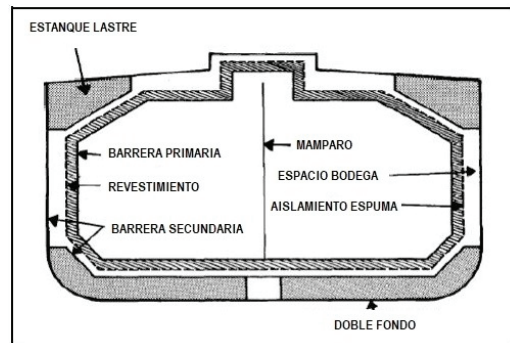
En vista de ello, pensando en el largo plazo y en la posibilidad de reducir drásticamente la emisión de GEI (CO<sub>2</sub>), la decisión fue ir por motores de combustión interna que permitieran la quema de GNL, los llamados motores duales (*Dual Fuel* – DF), que pueden quemar, indistintamente, petróleo diésel (MGO) o GNL.

La primera dificultad fue que la tecnología para quemar GNL en motores diésel, sólo estaba disponible para motores de cuatro tiempos, en circunstancias que lo deseable era poder equipar

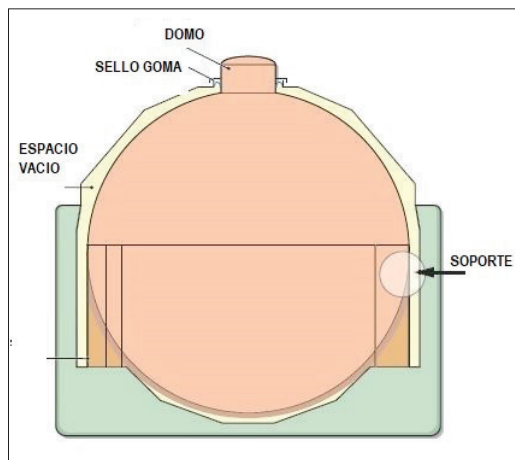
los buques con motores de dos tiempos (motores más lentos, que permiten tener transmisión directa al eje porta hélice, sin la necesidad de tener que instalar una caja reductora, así ahorrando espacio y permitiendo la instalación de un generador de energía eléctrica en el eje porta hélice).

Esta situación llevó a acercarse a los fabricantes de motores diésel marinos, MAN *Burmeister & Wain* y *Wärtsilä*, quienes ya habían comenzado a investigar y a desarrollar los motores DF de dos tiempos. La idea era acelerar el proceso, en vista que ahora había una demanda real por estos motores.

MAN B&W estaba trabajando en un sistema de inyección de gas de alta presión, mientras que *Wärtsilä* apostaba a un sistema de inyección de gas de baja presión. El primero (MAN), tenía la ventaja de quemar mejor el combustible y evitar el llamado *methane slip* (gas no quemado en el proceso de combustión), pero la desventaja era tener que emplear materiales más resistentes y con espesores mayores, aumentando significativamente el costo inicial y el costo de la mantención. El segundo (*Wärtsilä*), con su sistema de inyección de baja presión, si bien tenía ciertas dificultades frente al *methane slip* ello ocurría sólo para gases con ciertos números de metano determinado, pero la gran ventaja era el uso de un equipamiento más simple, de bajo costo inicial y bajo costo de mantención durante el ciclo de vida del motor. En consecuencia, la elección fue el motor *Wärtsilä* RT-flex50DF.



■ Estanco tipo "A".



■ Estanco tipo "B".

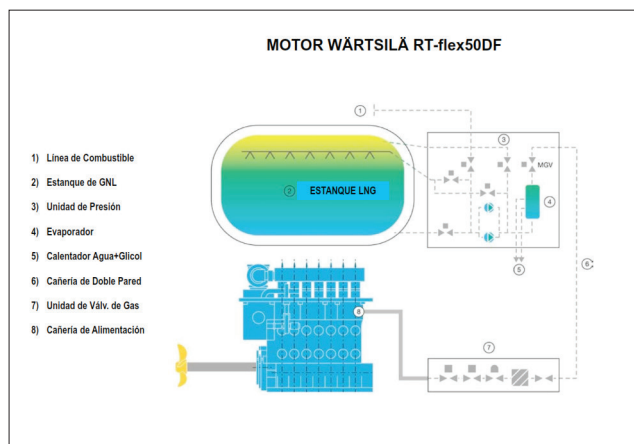
Acto seguido, venía el problema de cómo almacenar el combustible a bordo, considerando que los espacios de carga son vitales, para el caso de un buque porta contenedores. Las alternativas eran las siguientes:

■ **Los estanques tipo "A"**

Construidos principalmente con superficies planas y con presiones máximas de 0.7 bar, esto significa que las cargas deben transportarse en una condición refrigerada completa, en condiciones de presión atmosférica (generalmente bajo 0.25 bar)

■ **Los estanques tipo "B"**

Construidos como esferas, sujetos a análisis de esfuerzos mucho más detallados que los tipo "A". Requieren de estudios de fatiga y análisis de propagación de grietas, muy estrictos.



■ Motor *Wartsila*.



■ Estanque tipo "C".

### ■ Los estanques tipo "C"

Construidos como cilindros presurizados, con presiones internas mayores a 2 bar. Se pueden montar de manera horizontal o vertical y con aislamiento.

### ■ Los estanques tipo membrana

Construidos a partir de una barrera primaria de contención muy delgada (0.7 a 1.5 mm) y que es soportada por el aislamiento. Son estanques no-auto-soportados, distintos al caso de los estanques independientes.

Los estanques tipo membrana son siempre provistos de una barrera de contención secundaria.

La selección fue por los estanques tipo "C", pues eran los que ofrecían una mejor combinación entre la simplicidad del estanque y la posibilidad de optimizar el espacio, en beneficio de los espacios de carga.

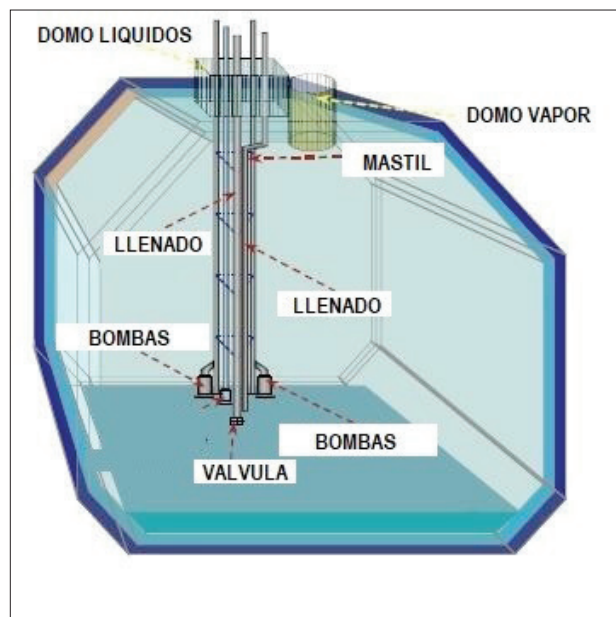
El diseñador decidió disponer de un espacio entre bodegas para la instalación de los estanques, los que fueron dispuestos de manera vertical.

El problema que seguía a continuación era el sistema de suministro del gas natural líquido (cómo llevar el gas desde los estanques hasta la inyección en motores y calderas), y para ello se seleccionó a la empresa TGE Marine

Gas Engineering, de Alemania, con experiencia en el desarrollo de la ingeniería para los sistemas de gas en más de 200 buques tanques para el transporte de GNL y habiendo trabajado con más de 20 astilleros especialistas, en Asia y Europa.

Cabe destacar que el GNL es almacenado en los estanques a una temperatura de  $-165^{\circ}\text{C}$  y por lo tanto es muy importante el aislamiento térmico de estanques, válvulas y cañerías. Y de aquí surge un nuevo problema a resolver, cuando se produce evaporación del líquido en las zonas altas de los estanques (*Boil-Off Gas* – BOG) y ese vapor debe ser de alguna manera eliminado, pero no puede

ser descargado a la atmósfera, por lo tanto o es consumido (quemado) o hay que volver a re-licuarlo. Entonces, la decisión siguiente fue contar con uno de los generadores impulsado también por un motor dual que quemara petróleo diésel o GNL y que la caldera fuera equipada con quemador para GNL, de tal forma de poder quemar el BOG. También se agregó un sistema simple de re-licuado y compresión para poder



■ Estanque tipo Membrana.

ingresar el BOG también a su quemador en el motor principal.

Y por último, estaba el problema del reabastecimiento de los estanques, donde se encontró que no había regulaciones particulares a esa condición que abordaran los temas de seguridad asociados al reabastecimiento de GNL simultáneo, con las operaciones de carga y descarga de contenedores.

La sociedad clasificadora *American Bureau of Shipping* (ABS) fue seleccionada para la clasificación y certificación, considerando su experiencia en el Proyecto de TOTE Marine de los EE.UU. de Norteamérica, consistente en dos buques portacontenedores propulsados con motores DF, pero de cuatro tiempos.

Y en una última etapa, se estableció una alianza estratégica con SHELL, para asegurar el abastecimiento de GNL en puertos del Báltico y Europa, en general.

El año 2014 era el momento clave para iniciar la aproximación al empleo de GNL como combustible para los buques operando en áreas de emisión controlada, y ello se hizo a través de la exhibición de la Feria Marítima Internacional SMM de Hamburgo. Allí se hizo evidente que la demanda por tecnología GNL era fuerte.

La colaboración del grupo GNS con *Wärtsilä*, era fundamental para dar el salto adelante e iniciar el camino hacia la masificación de la propulsión quemando GNL en motores de dos tiempos.

En esa oportunidad, durante la SMM de Hamburgo, su CEO, Björn Rosengren declaraba:



■ Grupo GUOYU.



■ Premio Innovación (SMM Hamburgo).

Estamos empezando a vislumbrar los beneficios que esta nueva tecnología traerá. Se ha ganado bastante experiencia con los sistemas de generación de energía terrestre. Ahora es el momento para que el sector marítimo abrace esta nueva tecnología, ya que, para el 1 de enero de 2015, regulaciones más estrictas, respecto de las emisiones, entrarán en vigencia, para el Mar Báltico.



■ Bautizo CNORD y CSTROM.

Nuestra predicción es que para el año 2020, los buques propulsados por GNL superarán los 1.300, comparado con los menos de 50 que existen hoy día.

Durante la SMM de Hamburgo, el grupo GNS (Grupo *Guoyu* de China y *Nordic Hamburg* de Alemania), por el desarrollo del proyecto de los buques portacontenedores propulsados con GNL, recibió el premio a la innovación 2014.

El 1 de julio de 2016 se firmó contrato con los astilleros *Wenchong* de China, para la construcción de los primeros cuatro buques portacontenedores propulsados con GNL, financiados por los bancos *Bank of China*, *Deutsche Bank* y *Credit Suisse*.

El 14 de mayo de 2018 se bautizan y botan al mar los primeros dos buques, el *Containerships Nord* y el *Containerships Strom*, dando así inicio a una nueva generación de buques que contribuyen a disminuir el efecto invernadero, reduciendo drásticamente la emisión de CO<sub>2</sub> a la atmósfera e iniciando la era de los buques portacontenedores propulsados por GNL.

## El futuro

“La demanda por combustibles fósiles en el mundo naviero, caerá violentamente en los próximos 25 años.”

Esto fue declarado en noviembre de 2017, en la conferencia de Atenas, por Simon Bennett,

el director de políticas de la Cámara Naviera Internacional (ICS), que representa a la asociación mundial de armadores, frente a las negociaciones con Naciones Unidas y la OMI, en la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, por parte de los buques.

El impulso generado por el Acuerdo de París por el cambio climático, ha derivado en la necesidad imperiosa e inmediata de cambiar, en los buques, a combustibles y sistemas de propulsión alternativos. Esto

ocurrirá tan pronto la tecnología y la infraestructura de reabastecimiento de combustibles lo permitan; y de lo cual el mundo naviero está seguro ocurrirá a corto plazo, ya sea usando celdas de combustible o baterías alimentadas por energías renovables, tales como el hidrógeno o alguna otra solución que todavía no se ve en el horizonte.

En el trabajo conjunto que la ICS ha estado realizando en conjunto con la OMI, existe un amplio consenso de los gobiernos, que la meta es tener combustibles con cero CO<sub>2</sub> de emisiones. La OMI, por su lado, ha estado preparando medidas para la reducción del CO<sub>2</sub> en fases de corto, mediano y largo plazo, para ayudar al mundo naviero a alcanzar la meta de cero CO<sub>2</sub>.

Como un primer paso, se ha impuesto como tarea inmediata, que el mundo naviero reduzca las emisiones por debajo de las emisiones registradas en el 2008, lo cual es bastante ambicioso, considerando que las Naciones Unidas predice que las emisiones de CO<sub>2</sub> en la economía mundial continuarán siendo crecientes hasta el año 2030, a pesar del Acuerdo de París.

Por ello, una buena solución, para ir bajando los niveles de emisión de CO<sub>2</sub> de manera inmediata, es mediante la quema de GNL en los motores de combustión interna y calderas.

Recientemente las empresas de buques de pasaje y en particular la empresa *Carnival Corp*,

han comenzado a construir la infraestructura necesaria para poder empezar a utilizar motores que quemen GNL. Definitivamente, ven esta solución como la mejor para el futuro próximo.

## Conclusiones

- Los Armadores han decidido pavimentar el camino para la introducción de la tecnología GNL.
- Para hacerlo es necesario establecer alianzas y colaboraciones estrechas con los fabricantes claves (motores, sistema de gas, sistemas de control, sistemas de contención del gas, sociedades clasificadoras, astilleros).
- Se necesitan astilleros experimentados en sistemas GNL.
- Se necesitan socios estratégicos para la cadena logística de entrega del GNL.
- Se necesita terminar de solucionar el problema de la entrega de gas en los puertos, mientras los buques realizan sus faenas de carga y descarga.
- El mundo naviero va, definitivamente, en camino a que el GNL sea el combustible marino del futuro.

\* \* \*

## BIBLIOGRAFÍA

1. Carta sobre Cambio Climático; L. Rafael Rief, Presidente, Instituto Tecnológico de Massachusetts, 21-Oct-2015
2. Naciones Unidas, Adopción del Acuerdo de Paris, 12-Dec-2015
3. Organización Marítima Internacional (OMI), MARPOL Anexo VI, Prevención a la Polución Atmosférica Proveniente de los Buques. Edición Revisada al 2017
4. Wärtsilä, Motor RT-flex50DF, 29-Abr-2014
5. Apuntes Personales del Autor, 2014-2017