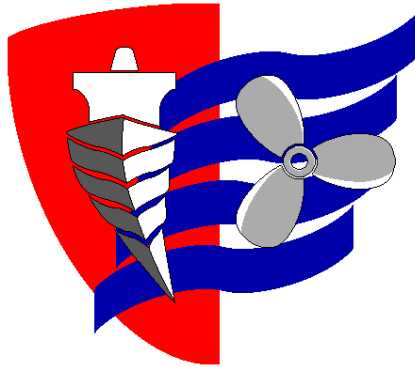


ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Trabajo Fin de Máster

**MEDICIÓN DE LA TASA DE BOIL-OFF Y HEEL EN
BUQUES LNG**

***BOIL-OFF AND HEEL RATE MEASUREMENT IN LNG
TANKERS***

Para acceder al Título de

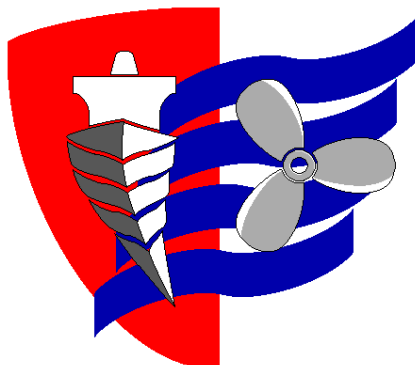
MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA

Autor: Fernando Rivera Díaz

Directora: Belén Río Calonge

Julio-2017

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Trabajo Fin de Máster

***MEDICION DE LA TASA DE BOIL-OFF Y HEEL EN
BUQUES LNG***

***BOIL-OFF AND HEEL RATE MEASUREMENT IN LNG
TANKERS***

Para acceder al Título de

MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA

Julio-2017

ÍNDICE GENERAL

Resumen	6
Summary	7
Palabras clave	8
Keywords	8
Definiciones y abreviaturas	8
1 Introducción	12
1.1 Antecedentes.....	13
1.1.1 Historia del Gas Natural Licuado	14
1.1.2 Composición del gas natural licuado.....	18
1.1.3 Gas Natural Licuado	21
1.2 Naturaleza del trabajo.....	25
1.3 Contexto técnico	25
1.3.1 Generador Principal	26
1.3.1.1 Consumo de combustible	30
1.3.2 Descripción de sistemas auxiliares	31
1.3.2.1 Sistema de combustible	32
1.3.3 Sistema extracción Boil-Off.....	35
1.4 Justificación y objetivos	40
1.5 Relevancia.....	44
2 Memoria descriptiva.....	46
2.1 Planteamiento del problema	46
2.2 Herramientas de resolución.....	48
2.2.1 Fórmula General	60

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

2.3	Metodología.....	61
2.3.1	Métodos de contención del Heel a bordo	61
2.3.1.1	Heel en todos los tanques	61
2.3.1.2	Heel en un solo tanque	63
2.3.1.3	Puerto de carga	64
2.3.1.4	Final de la descarga y planificación de viaje	65
2.3.1.5	Heel out y Métodos Heel.....	65
2.3.1.6	Viaje con Carga	66
2.3.2	Gestión del gas	67
2.3.2.1	Sobrepresión.....	68
2.3.2.2	Baja presión	69
2.3.3	Metodología y tablas de cálculo para Heel&ROB	71
2.3.3	El método Klosek & McKinley	86
3	Aplicación práctica.....	95
3.1	Informe general de carga.....	95
3.2	Ejemplos prácticos.....	109
3.2.1	Ejemplo 1: (DFDE-Motores Duales).....	109
3.2.2	Ejemplo 2:(Steam-Turbineros)	110
3.3	Cálculos 2015-2016 (Carga y lastre)	111
4	Conclusiones	141
5	Referencias bibliográficas.....	144
5.1	Libros.....	144
5.2	Páginas web	145
5.3	Apuntes Varios	145
Anexo I Cargo handling design		

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

Anexo II Cargo piping and valve design criteria

Anexo III Cargo operation manual

Anexo IV Sloshing

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

RESUMEN

En el trabajo vamos a analizar el conjunto de gas natural licuado transportado a bordo, analizando todos sus compuestos, así como el método de contención a bordo, y una aproximación al cálculo diario de evaporación del Boil-Off y Heel. Como parte final, describiré como es manejado y aprovechado a bordo.

En el trabajo dictado a continuación se examina el problema de la evaporación del Gas Natural Licuado (GNL) que ocurre en la cadena de suministro de este medio de los buques tanque.

Las pérdidas por evaporación en el suministro GNL son uno de los factores clave para la seguridad, técnica y evaluación económica de una de las principales fuentes de energía actuales.

En las próximas páginas vamos a analizar el conjunto de gas natural licuado transportado a bordo, analizando todos sus compuestos. Así como el método de contención a bordo, y una aproximación al cálculo diario de evaporación del Boil-Off y Heel. Como parte final, se describirá como es manejado y aprovechado a bordo.

Durante un viaje el calor transferido a la carga a través del aislamiento, causa la vaporización de parte de dicha carga. La composición de este LNG es por tanto cambiante, ya que estos componentes más ligeros, con un punto de ebullición más bajo a presión atmosférica se vaporizan primero. Además de lo dicho el LNG en la descarga tiene un porcentaje más bajo de nitrógeno y metano que en el puerto de carga, y ligeramente superior en etano, propano, butano.

En la última parte del trabajo correspondiente a la aplicación práctica utilizaremos las tablas y ecuaciones propuestas y mediante tablas predefinidas obtendremos las variables ya mencionadas y con los valores obtenidos sacaremos las conclusiones y pautas para el viaje tanto en lastre como en carga.

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

SUMMARY

In the work we will analyze the set of liquefied natural gas transported on board, analyzing all its compounds, as well as the method of containment on board, and an approximation to the daily calculation of evaporation of Boil-Off and Heel. As a final part, I will describe how it is handled and used on board. In the work that follows, the problem of the evaporation of Liquefied Natural Gas (LNG) that occurs in the supply chain of this means of tankers is examined. Evaporative losses in the LNG supply are one of the key factors for the safety, technical and economic evaluation of one of the main current energy sources. In the next pages we will analyze the set of liquefied natural gas transported on board, analyzing all its compounds. As well as the method of containment on board, and an approximation to the daily calculation of evaporation of Boil-Off and Heel. As a final part, it will be described how it is handled and used on board. During a trip the heat transferred to the load through the insulation, causes the vaporization of part of said load. The composition of this LNG is therefore changing, as these lighter components with a lower boiling point at atmospheric pressure are vaporized first. In addition to the above, the LNG in the discharge has a lower percentage of nitrogen and methane than in the loading port, and slightly higher in ethane, propane, butane. In the last part of the work corresponding to the practical application we will use the proposed tables and equations and by means of predefined tables we will obtain the variables already mentioned and with the obtained values we will draw the conclusions and guidelines for the journey in ballast and in load.

PALABRAS CLAVE

Líquido evaporado, remanente de gas natural, líquido después de la descarga, gas natural licuado.

KEYWORDS

Boil-Off, Heel, LNG tankers.

DEFINICIONES Y ABREVIATURAS

Ne: potencia entregada por la turbina

C: compresor

T: turbina

BOG: gases evaporados "boiled off gas"

I.C.C: intercambiador de calor criogénico

I.C: intercambiador de calor

R: refrigerador

k: coeficiente de dilatación adiabática

Cp: capacidad calorífica a presión constante

Cv: capacidad calorífica a volumen constante

P: presión

P: potencia

η : rendimiento ó eficiencia

ϵ : relación de compresión

M: masa

r: densidad

V: volumen

V: volumen específico

D: incremento

b: coeficiente de rendimiento

h: entalpía específica

W: trabajo específico

Q: calor específico

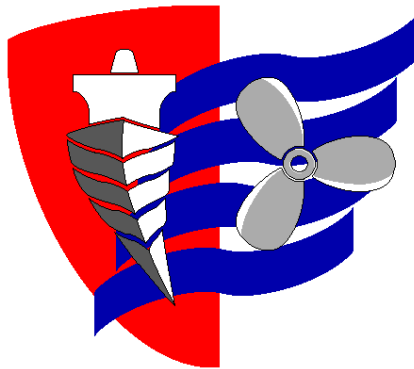
Heel:	Gas natural licuado que se deja en uno o más tanques con propósitos de enfriamiento a las condiciones óptimas de carga, cuando se viaja en lastre.
LNG:	Gas natural licuado, mayormente metano (CH_4), mezclado con pequeñas cantidades de otros gases.
Etano:	(C_2H_6) El componente en mayor proporción en el LNG sin ser Metano. No es útil para el enfriamiento de los tanques y contribuye a lo que denominamos el envejecimiento del LNG con el tiempo de vaporización.
LPG:	Gases licuados más pesados que el metano y el etano.
Arrival Heel:	Heel abordo en el CTS1 (Custody transfer system/Sistema de medición del nivel de tanques)
Heel ageing:	Nombre común del Heel de LNG, donde el contenido de metano se reduce con el tiempo.
BOG:	Boil Off Gas, vapor gas proveniente de los tanques de carga como resultado de la vaporización del LNG
BOR:	Boil Off Rate, cantidad de vapor generado desde los tanques de LNG.
GCU:	Gas Combustion Unit, unidad que quema gas vaporizado con el propósito de mantener presión adecuada en los tanques.

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

Steam dump:	Exceso de vapor proveniente de las calderas como resultado del exceso de gas quemado en los motores.
ROB:	Remaining On Board, cantidad de carga a bordo .
HFO:	Heavy Fuel Oil
NBO	Boil Off Natural
FBO	Boil Off forzado
GMS	Sistema de gestión del gas
GVU	Unidad de válvulas de gas
FV	Vaporizador forzado
PMS	Sistema principal de propulsion

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



INTRODUCCIÓN

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

1 INTRODUCCIÓN

El GNL se almacena y se transporta en tanques como un líquido criogénico, es decir, como líquido a temperatura inferior a su punto de ebullición, a la presión atmosférica, en el caso de gas natural, donde están presentes metano, etano, propano, etc..., éste es transportado a temperaturas inferiores a -162°C . El proceso de licuefacción reduce el volumen de gas natural 600 veces con respecto a su volumen original gaseoso, pudiendo de esta manera transportar y almacenar una cantidad mucho mayor.

Debido que hasta la actualidad no se ha llegado a encontrar un material cien por cien aislante, según el segundo principio de la termodinámica, el calor tiende a pasar del foco caliente, en este caso el ambiente, hacia el cuerpo frío, en este caso la carga, debido a este suceso, parte de la carga será evaporada, produciendo el Boil-Off (BOG).

Así, al igual que cualquier otro líquido, el gas natural licuado se evapora con temperaturas por encima de su punto de ebullición, pasando entonces de fase líquida a gaseosa. En el GNL esta fase gaseosa es conocida mundialmente como "Boil-Off" (BOG), término traducido del inglés como "Gas de Evaporación".

La producción del llamado BOG, ocasiona un aumento de la presión dentro del recipiente de contención, pudiendo ser peligroso para la estructura de los tanques de almacenamiento, así como un peligro para toda la tripulación de abordó. Así pues, para mantener unas presiones seguras de trabajo, el BOG aprovecha las distintas formas que veremos a continuación, además de poder ser relicuado y devuelto al tanque de vuelta.

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

1.1 ANTECEDENTES

En el transcurso del tiempo, el transporte de gas natural por mar ha sufrido muchas modificaciones enfocadas al ahorro económico durante la navegación. El motivo por el cual está en continua expansión es por la búsqueda de combustibles alternativos al petróleo y la demanda de ciertos países que no disponen de tantos recursos energéticos. El transporte marítimo es la gran alternativa para comercializar con grandes cantidades de metano ya que se dispone de buques que contienen hasta 270.000 m³ de GNL. El sector del Gas Natural Licuado está en auge en tiempos en que los combustibles fósiles se agotan y donde más se nota su incremento es en los países orientales como China y Corea. Gracias a un mayor nivel cualitativo en su construcción y el bajo coste de la mano de obra provocan que las navieras sientan particular atracción por encargar a astilleros asiáticos la construcción de este tipo de buques. Una ventaja importante a tener en cuenta es las propiedades del gas natural licuado, definiéndose como un gas muy estable y limpio respecto al medioambiente. En el caso que se produjese alguna fuga el metano puede ser expulsado a la atmósfera sin provocar daño alguno. Hasta la fecha no existe ningún accidente de consecuencias graves por lo que se define como una industria muy segura.

En cuanto a la propulsión de estos buques, requieren un gasto energético elevado al navegar a altas velocidades (19-20 nudos) y por la complejidad de sus instalaciones ya que están obligados a disponer de las tecnologías más avanzadas. Como consecuencia de la complejidad, la tripulación debe formarse y especializarse para operar en buques de tales características.

Los tanques más utilizados actualmente son los de tipo membrana que constan de dos capas aislantes fabricadas con aluminio ó Invar, una aleación de acero con níquel. El material a escoger para los tanques depende de la resistencia que tengan a las temperaturas criogénicas para no resquebrajarse y asegurar

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

la contención del metano. El diseño del doble casco utilizado comúnmente en buques petroleros se diseñó con la finalidad de aplicarse en metaneros usado en ambos por el mismo motivo como es la seguridad de la carga. Las características más importantes de los tanques de contención son, el soportar las bajas temperaturas y mantener una estanqueidad total. Como la temperatura en el interior de los tanques es muy baja, la del ambiente incide constantemente provocando una generación constante de gases, inconveniente del que surgieron varias soluciones para la eliminación de los gases. Existen sistemas de incineración, como combustible para motores duales, calderas, etc ... La más interesante y expuesta a continuación es el sistema de licuado para devolverlo a tanques. Son bastante costosas pero corrigen constantemente el nivel de la carga para disminuir las pérdidas desde el puerto de exportación hasta el de destino. El tratado de gas natural requiere de plantas especializadas tanto en el mar (buques) como en tierra. El objetivo del transporte de gas natural es la gran cantidad de carga que puede ser contenida cuando este gas se encuentra en estado líquido. La cantidad a almacenar aumenta unas 600 veces al licuarlo por lo que el proceso resulta bastante ventajoso. Al llegar a tierra, el puerto debe disponer de plantas regasificadoras para poder suministrar el gas a diferentes sectores como son el sector industrial, para generación eléctrica con ciclos combinados, para el uso doméstico y para la elaboración de productos químicos como son el amoníaco y la urea.

1.1.1 HISTORIA DEL GAS NATURAL LICUADO

Nos remontamos a Enero de 1959, cuando el primer buque tanque de GNL del mundo, El Pionero Metano ("Methane Pioneer"), un buque tanque de la Segunda Guerra Mundial reconstruido, cargado con cinco tanques prismáticos de aluminio, de 7.000 barriles de capacidad con soportes de madera y

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

aislamiento de madera contra chapada y uretano, llevó una carga de GNL de Lake Charles, en Luisiana a La Isla Canvey, en el Reino Unido.

Este fue el primer paso que demostró que grandes cantidades de gas natural licuado podían ser transportadas de manera segura a través de los mares. Durante los siguientes 14 meses, siete cargas adicionales fueron entregadas con solo problemas menores.

Continuando la exitosa función del Pionero metano, El Consejo Británico de Gas, procedió a implementar un proyecto comercial para importar GNL de Venezuela a la Isla de Canvey.

Con el arranque de 260 millones de pies cúbicos por día, el Reino Unido llegó a ser el primer importador de GNL mundial y Argelia el primer exportador. Argelia se ha convertido desde entonces en un suplidor muy importante mundialmente de gas natural con GNL.

A partir de entonces, la historia muestra un continuo crecimiento del intercambio de GNL en el mundo. Primero Japón, para reducir su dependencia del petróleo, encara la gasificación del país sobre la base casi exclusiva de las importaciones de GNL. Otros países asiáticos, como Corea, siguen sus pasos para ir conformando el gran mercado del Pacífico.

Un trabajo similar realizó Francia para ser provista de gas natural de Argelia. En 1959, se formó la “Methane Transporte Company”, bajo mando de la fuerza de “Gas of France”, para así coordinar el trabajo en sus astilleros. De este modo, construyeron tres buques con tres tipos distintos de tanques, diseñados cada uno por un astillero distinto. El primero, con capacidad para 400 m³, era prismático, construido de aluminio AG-4, con una segunda barrera de fibra de vidrio. El segundo, con una capacidad de 120 m³, de forma cilíndrica vertical, con una parte baja en forma cónica y la parte superior con forma helicoidal, hecho de aluminio AG-4, protegido por su parte exterior de plancha de acero

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

con un 9% en níquel. El aislamiento para ambos consistía en bloques de PVC mezclados con perlita.

Fue hasta febrero del 1962, cuando la “British Gas Corporación” pidió la construcción de dos buques nuevos, para abastecer el contrato firmado a 15 años con Argelia de 100 millones de metros cúbicos por día de gas natural. Estos fueron llamados el “Methane Princess” y el “Methane Progress”, cada uno de 27,400 m³, ambos contruidos de aleación de Aluminio 5083-0, con una membrana de aislamiento hecha de una combinación de madera de balsa y fibra de vidrio de segunda membrana. La tasa de Boil-Off fue designada de 0,33% del total de la capacidad de la carga por día, siendo estos los primeros buques con sistema de aprovechamiento del Boil-Off, siendo enviado como combustible a las calderas.

En el mismo momento, en Francia, ordenado por “Gas Marine”, construyó el “Jules Verne”, diseñado para abastecer la terminal de gas a Le Havre (Francia) con gas de Arzew (Argelia). Provisto con siete tanques de carga cilíndricos, en forma de vertical de acero con un 9% en níquel, endurecidos con seis anillos internos. La barrera de aislamiento fue una combinación de perlita, y una barrera secundaria de aluminio estanco a los líquidos.

La tasa de Boil-Off fue diseñada al 0.27% del total de la carga, usado también como el caso de los ingleses, para abastecer de combustible las calderas. Hasta hace bien poco, 34 años más tarde, seguía abasteciendo a España con gas de Argelia.

No fue hasta finales de los años 60, cuando la industria del gas notó unos importantes avances, debido a los contratos firmados por los estados de Francia y España con Libia, donde demandaban 235.000 m³ y 110.000 m³ de gas diario respectivamente, donde se construyeron buques por encima de 40.000 m³ de capacidad, con una velocidad media de 18 nudos.

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

Como se puede apreciar en la actualidad, el tamaño de los buques LNG ha notado un incremento muy rápido, desde los 27.000 m³ del “Methane Princess” y “Methane Progress” en los años 60’s, pasando por mediados del 1970’s a 125.000 m³, hasta la actualidad, donde debido a los avances tecnológicos se están construyendo nuevos buques LNGH con capacidades por encima de los 200.000 m³, con unas tasas de evaporación de alrededor del 10% del total de la carga.

Además del volumen de carga y su tasa de evaporación, estos tipos de buque también han sufrido cambios a lo que es su sistema de propulsión, desde la utilización del gas como combustible para las calderas, para de esta forma mover una turbina de vapor, hasta la actualidad donde nuevos sistemas de motores de 4 y 2 tiempos se están incorporando, y cogiendo cada vez mas peso.

Debido a la cada vez mayor participación del gas natural como fuente de energía mundial, el trafico marítimo de gas licuado está en continuo crecimiento, con incluso mayores expectativas para el futuro.

La desigualdad territorial en reservas petrolíferas y de gas natural, las reservas de Gas Natural están concentradas en Oriente Medio (43%), sobre todo en Irán (18%) y en Qatar (13%). Después de Oriente Medio, las principales reservas del mundo, se localizan en la Antigua Unión Soviética (29%); Asia Pacífico (8%) y África (7%). Comparativamente con las distribución regional de las reservas de petróleo, las de gas natural están más diversificadas.

Sin embargo, actualmente las mayores zonas de producción de Gas Natural son Norteamérica (27%), con Estados Unidos a la cabeza (21%); la Antigua Unión Soviética (23%), Oriente Medio (17%) y Asia Pacífico (15%).

En lo que se refiere al comercio internacional del gas, el gas natural comercializado entre países fue en 2013, más del 34% de la producción

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

mundial y presenta un elevado potencial de crecimiento, sobre todo en lo que respecta al comercio del GNL (Gas Natural Licuado).

Los principales importadores de Gas Natural vía GNL son Japón (37%), Corea del Sur (17%), China (8%), India (6%), Taiwán (6%) y España (5%).

El gas natural se enfria a $-161\text{ }^{\circ}\text{C}$ en condiciones de presión atmosférica, con este proceso, al que denominamos relicuefacción, reducimos el volumen en aproximadamente 600 veces. Esta disminución drástica en su volumen lo capacita al tiempo para su transporte vía marítima, siendo de este modo los buques LNG una alternativa económica muy atractiva en contraposición al transporte por tuberías (gaseoductos), donde a partir de más de 2000 kilómetros de distancia deja de ser técnica o políticamente rentable.

Es por ello que con la relicuefacción del gas natural se hace viable su transporte de un lugar a otro. El proceso a seguir en la cadena de relicuefacción parte de la exploración de la corteza (normalmente como producto subsidiario de la búsqueda del petróleo), tras ello su transformación a estado líquido mediante subenfriamiento y su posterior transporte y por último su almacenamiento y posterior regasificación. Además de lo ya expuesto, otra ventaja de la relicuefacción consiste en poder almacenar el gas natural para uso durante altos periodos de demanda, en aquellos lugares donde geológicamente no son favorables para su almacenamiento subterráneo.

1.1.2 COMPOSICIÓN DEL GAS NATURAL LICUADO

La composición del LNG variará en cada terminal de carga dependiendo de la fuente y del proceso de relicuefacción, pero siendo siempre el principal constituyente el metano. Otros compuestos en menor porcentaje serán aquellos hidrocarburos más pesados como el etano, propano, butano, pentano y posiblemente una pequeña cantidad de nitrógeno.

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

Para la mayoría de los cálculos de ingeniería (pérdida de presión en tuberías) se puede asumir que las propiedades físicas del metano puro representan las del LNG.

El rango de inflamabilidad del metano en el aire es de aproximadamente de 5.3% al 14 % de volumen. Para reducir este volumen el aire se diluye con nitrógeno hasta que el contenido de oxígeno se reduce al 2% obligatorio para cargar después de astillero.



Figura 1. Composición del GNL.

Fuente: Cargo Operation manual Sevilla Knutsen Cap 2-pag.3.

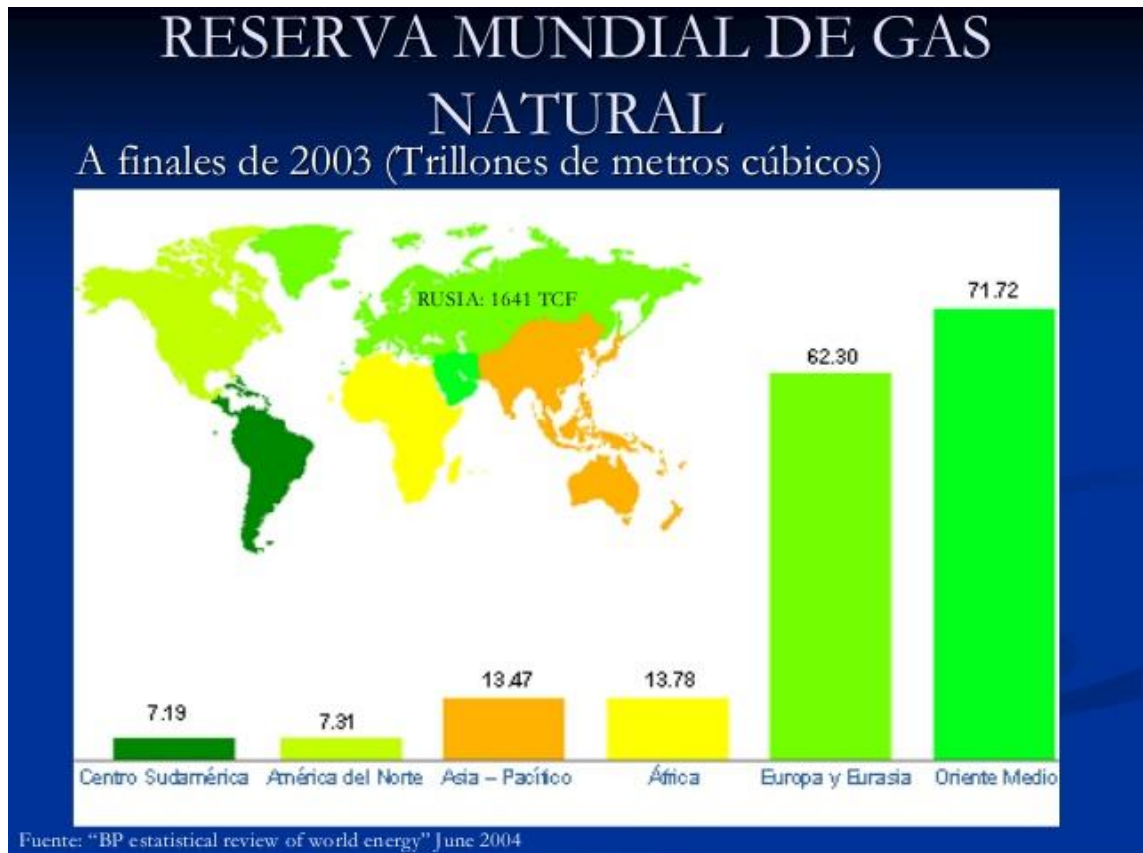


Figura 2. Reservas Mundiales de Gas Natural
Fuente: <http://image.slidesharedn.com/el.gas.natural>

La mayor parte del comercio internacional de gas natural, dependiendo de la distancia, se lleva a cabo a través de gaseoducto o transporte marítimo y raras veces con transporte especial de ferrocarril o transporte por carretera. Debido a los menores costes de inversión, el transporte de gas a través de gaseoductos se prefiere hasta distancias de no más de 2000 kilómetros, después de eso, los costes crecen significativamente más rápido que los costos de transporte de gas en forma líquida por mar.

La cadena de valor de GNL invierte un número diferente de operaciones y procesos relacionados entre si, para ser transportado desde las zonas productoras, hasta las zonas consumidoras.

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

1.1.3 GAS NATURAL LICUADO

El gas natural es una energía de origen fósil que se encuentra en el subsuelo y procede de la descomposición de materia orgánica atrapada en estratos rocosos.

Es una mezcla de hidrocarburos, principalmente Metano (CH_4), encontrándose entre el 85-98% en volumen, y en cantidades más pequeñas encontramos distintos hidrocarburos, como el Etano (C_2H_6), Propano (C_3H_8), hidrocarburos superiores (CH_4+) y Nitrógeno (N_2) como componente inerte.

Su composición real variará debido a distintos factores, principalmente de la fuente de obtención, ya que no existe una reserva igual a otra y los porcentajes de metano variarán. También dependerá de su tratamiento en las instalaciones de licuefacción y manejo en la distribución de éste. La composición del gas en las terminales de carga variará con respecto a ese mismo gas a lo largo de todo su transporte, debido al Boil-Off, porque los componentes más ligeros, teniendo un punto de evaporación menor a presión atmosférica, vaporizarán antes, es el caso del metano y nitrógeno.

Existen muchas terminales de carga, cuyas temperaturas ambientales son muy elevadas, y los tanques de contención no disponen de un buen aislamiento, para mantener el gas en estado líquido, se inyecta nitrógeno a muy baja temperatura, este enfriamiento provoca unos cambios de composición del gas, así como de otras propiedades como densidad, poder calorífico y calidad del gas.

Proyecto de Exportación LNG

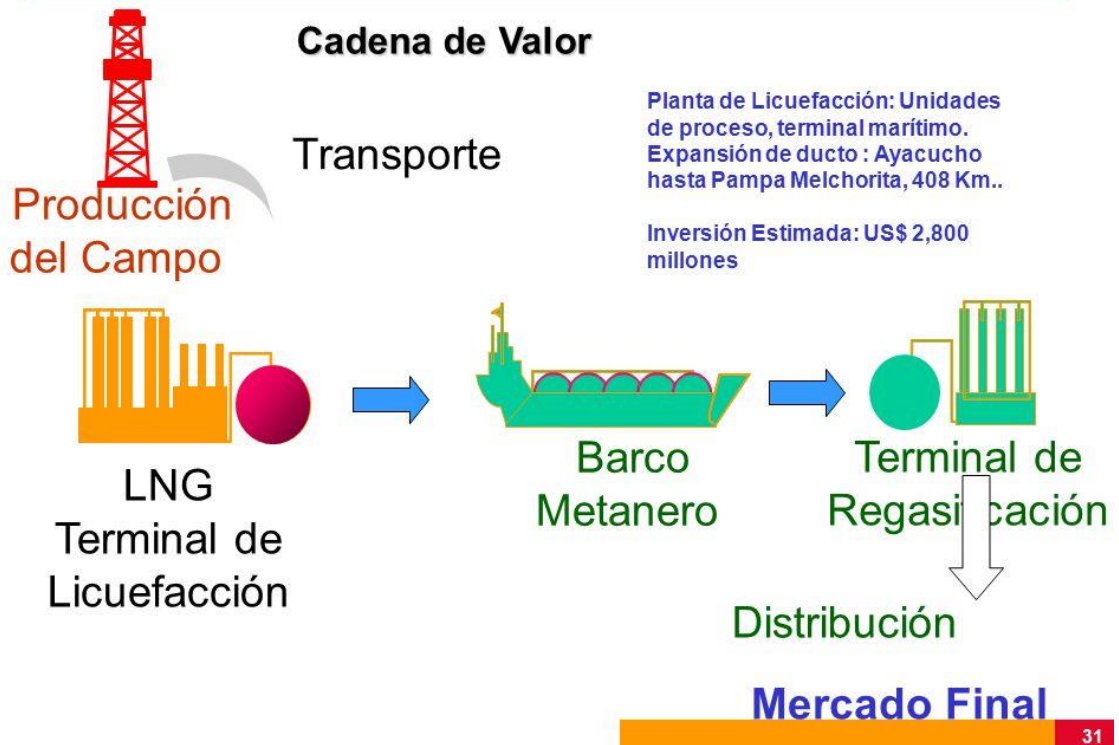


Figura 3. Proyecto de exportación LNG

Fuente: www.ssecoconsulting.com/exportacioacuten-lng-desde-melchorita.html

- **Producción de gas natural**, el proceso de explotación y producción de gas natural para su entrega a una planta procesadora.
- **Licuefacción**, la conversión del gas natural a un estado líquido para su transporte por medio de buques tanque.
- **Transportación**, el envío de GNL en buques especializados para su entrega a los mercados.
- **Regasificación**, la conversión de GNL a su fase gaseosa y el paso del líquido criogénico por los vaporizadores.
- **Distribución y entrega** de gas natural a través del sistema de conductos de gas del país y su distribución a los usuarios finales.

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

Composiciones LNG (% mol)						
	CH ₄ (Metano)	C ₂ H ₆ (Etano)	C ₃ H ₈ (Propano)	C ₄ H ₁₀ (Butano)	C ₅ H ₁₂ (Pentano)	N ₂ (Nitrógeno)
Arzew (Algeria)	87.10	8.60	2.10	0.05	0.02	0.35
Bintulu (Malaysia)	91.23	1.30	2.95	1.10	0.00	0.12
Bonny (Nigeria)	90.10	5.20	2.80	1.50	0.02	0.07
Das Island (UAE)	81.83	13.39	1.31	0.28	0.00	0.17
Point Fortin (Trinidad)	96.20	3.26	0.42	0.07	0.01	0.008
Ras Laffan (Qatar)	90.10	6.17	2.27	0.60	0.03	0.25
Skikda (Algeria)	91.50	5.61	1.50	0.50	0.01	0.85
Withnell (Australia)	89.02	7.33	2.56	1.03	0.00	0.06

Figura 4. Composicion LNG.

Fuente: Mcguire and White, 2000

Además, otras cualidades físicas que pueden cambiar significativamente dependiendo de los porcentajes son el peso específico importante a la hora de calcular el peso muerto de la carga transportado en un volumen dado, y el poder calorífico tanto a la hora de calcular el valor monetario de la carga, como la energía del gas.

Debido a estas diferencias de peso, el parámetro más comúnmente usado para clasificar el tipo de gas licuado es según su densidad, diferenciado GNL ligero, medio o pesado.

El GNL ligero esta sobre el 98% de metano y una densidad de 427 kg/m³, GNL medio sobre le 92% de metano, a una densidad de 445,69 kg/m³, y por último el GNL pesado, composicion sobre el 87% de metano a una densidad de

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

464,83 kg/m³. Estas densidades van a ser un factor a tener en cuenta cuando queramos calcular el BOG.

Como las demás propiedades, el gas natural licuado es incoloro, indoloro, no es corrosivo ni tóxico, siendo más ligero que el agua. Pero en su estado gaseoso es una gran destructor de la capa de ozono, así su manejo debe de ser controlado en todo momento, además de un gran peligro cuando se encuentra mezclado con aire, donde una fuente de ignición provocaría su inflamación.

Otra propiedad importante a tener en cuenta a la hora de manejo del gas, es el punto de ebullición a la presión transportada de los elementos constituyentes, presentando aquí grandes diferencias, que nos ayudarán en su transporte y almacenamiento.

Como se puede observar, el punto de ebullición sube según incrementamos la presión de los componentes de gas.

Es por este fenómeno, que el GNL puede ser transportado en distintos tipos de tanques. Existen tanques capaces de mantener altas presiones, conllevando entonces un ascenso del punto de ebullición del gas, fenómeno que es de gran ayuda, debido a que uno de los grandes problemas que presenta el transporte de este tipo de carga, es el mantenerla por debajo de su punto de ebullición.

Este tipo de tanques hoy en día están obsoletos para su construcción, debido a los grandes grosores de membrana que supone poder mantener un espacio tan grande a altas presiones, conllevando también una pérdida de espacio a bordo, que supone menos cantidad a ser transportada.

Actualmente, debido a los avances en los materiales, se han conseguido fabricar membranas muy aislantes térmicamente, así la mayoría de buques LNG, son fabricados para transportar el gas a presión atmosférica, y a temperaturas por debajo del punto de ebullición. Este hecho ha supuesto una

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

reducción del grosor de las membranas, y con ello un aumento de los espacios de carga.

1.2 NATURALEZA DEL TRABAJO

El trabajo trata de un estudio técnico a bordo de buques metaneros. Tanto el Heel como el Gas Evaporado (BOG), ya sea en lastre como en carga, durante dicho viaje, son los factores que determinan en mayor medida la ganancia económica en los buques de transporte de gas natural. Es por ello que con este trabajo se pretende plasmar la importancia de dichas variables, acercarse a las circunstancias peculiares de su transporte a bordo de los buques de gas natural y por ultimo realizar cálculos aproximativos que nos ayuden de modo práctico-real a la hora de su manejo y transporte con fines comerciales.

1.3 CONTEXTO TÉCNICO

El buque en el que se va a realizar el estudio tiene las siguiente características:

Astillero: Daewoo Shipbuilding and Marine Engineering Co., Ltd. Okpo Shipyard. República de Corea

Número de Quilla: 2274

Nombre del buque: SEVILLA KNUTSEN

Fecha de Entrega: 1 de Octubre de 2010

Bandera: ESPAÑOLA

Indicativo: EACW

Número de la OMI: 9434266

Tipo de carga: Gas Natural

Tipo de buque: Buque Gasero

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

Armazón: Arco con bulbo y armazón rastrillado

Popa: De espejo

Navegación: Transporte internacional

Clasificación DNV: +1A1, petrolero para el gas licuado, buque tipo 2G (-163°C, 500 kg/ m³, 0,25 bares), NAUTICUS (Nueva construcción), PLUS-2, E0#, NAUT-OC, F-A##, CLEAN, GAS FUELLED, TMON, BIS, RP.

Eslora total: Aproximadamente 290,00 m

Eslora entre los perpendiculares: 279,00 m

Manga: 45,80 m

Calado: 26,50 m

Puntal: 12,90 m

Cubierta libre: Cubierta Sumergida

Capacidad de carga total: 173.400 m³

Válvula de seguridad de los tanques de carga: 250 mbar

Válvula de seguridad del aislamiento: 10 mbar

Velocidad de servicio: 19,5 nudos

Potencia propulsora (en el eje) 13.240 kW x 77,8 RPM, cada uno

Tripulación: 40 personas + 6 Suez

1.3.1 GENERADOR PRINCIPAL

Las figuras que se muestran a continuación pertenecen al generador principal.

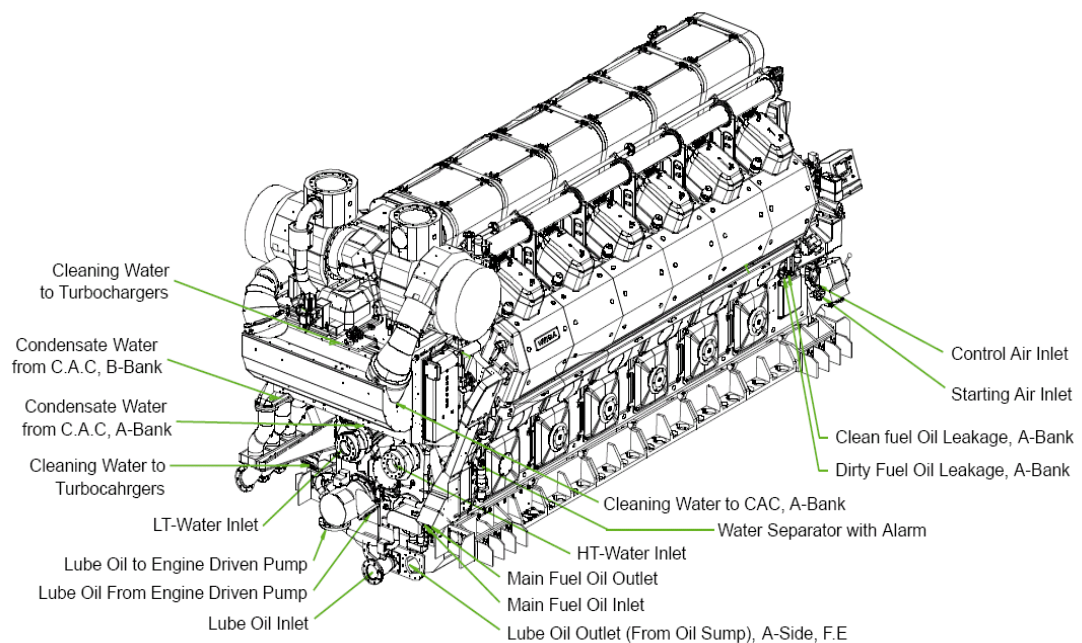
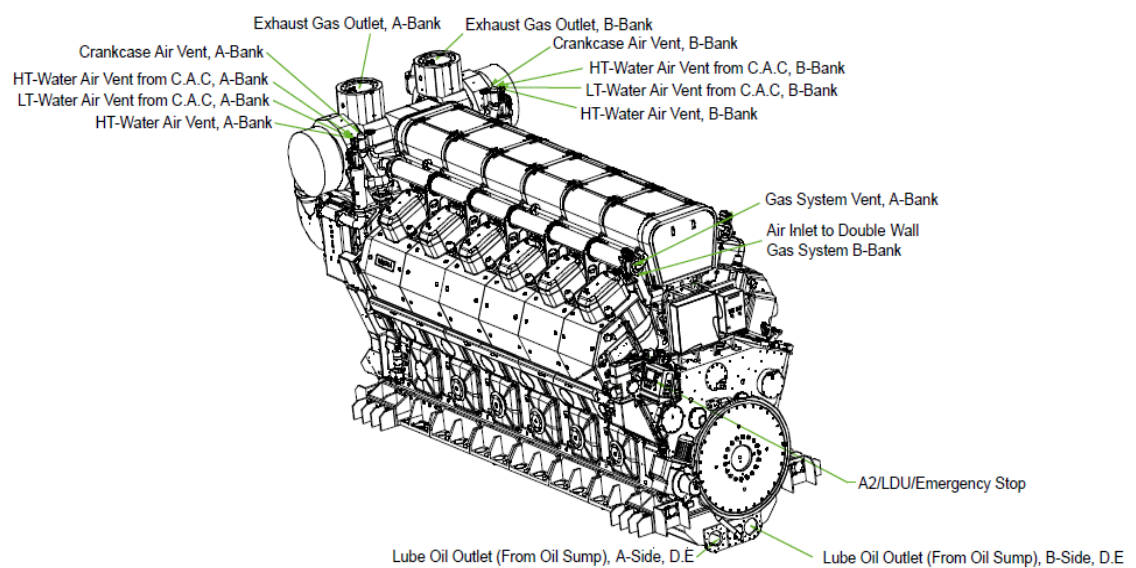


Figura 5. Generador principal.

Fuente: Machinery Operating Manual (Sevilla Knutsen)



TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

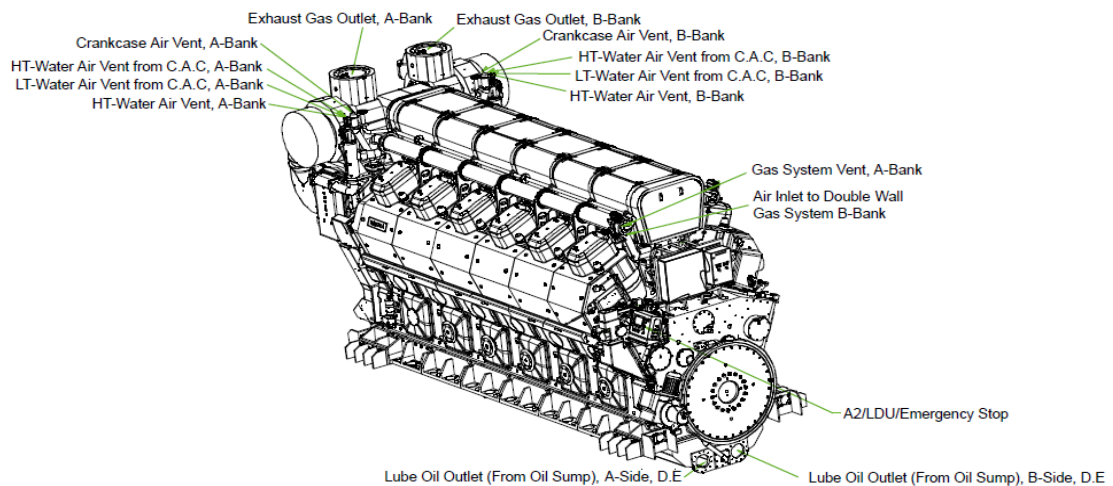


Figura 6. Generador principal.

Fuente: Machinery Operating Manual (Sevilla Knutsen)

En las figuras 5 y 6 arriba expuestas y en los cuadros de características, se exponen de modo conciso los principales valores técnicos de este tipo de motores de combustión, cuya principal característica consiste en su versatilidad y manejo a la hora de operar con diferentes modos de combustible. En el presente trabajo y antes de profundizar en las variables del gas que ya se verán más adelante, si me gustaría detenerme aunque brevemente a señalar la importancia y el progreso que para este tipo de buques (LNG) ha representado los motores duales. Aunque la tendencia actual parece que será los dos tiempos a gas, en esta presentación nos centramos en los motores duales de la casa Wartsila.

Hay cuatro generadores diesel suministrando energía eléctrica al buque. Los generadores N°1, N°2 y N°4 son el modelo Wärtsilä 12V50DF que aportan una potencia de 11400 kW. El generador N°3, sin embargo, es un Wärtsilä 9L50DF y aporta una potencia de 8550 kW. Los cuatro motores son capaces de funcionar en modo HFO (Heavy Diesel Oil), MDO (Marine Diesel Oil) y modo

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

GAS. El modo de funcionamiento se escoge en el sistema de control, IAS (INTEGRATED AUTOMATION SYSTEM).

Los motores son turbo, intercooler, diesel de 4 tiempos, con inyección directa de combustible líquido. El bloque motor está fundido en una sola pieza. Los cojinetes principales son colgantes. La tapa de cojinetes principal está sostenida por dos tornillos hidráulicamente tensionados y dos tornillos laterales horizontales.

El sistema del aro del pistón en el motor Wärtsilä 50DF consta de dos aros de compresión cromados y un aro raspador del aceite por resorte con bordes cromados. Los surcos del aro de la parte superior del pistón están endurecidos. El aceite de refrigeración entra en el espacio de refrigeración a través de la biela. Estos espacios de refrigeración, están diseñados para dar un efecto agitador óptimo. Parte del aceite que va al espacio de refrigeración, se dirige a la falda del pistón para proporcionar lubricación, aunque las boquillas están situadas en el propio pistón.

Las válvulas de admisión son chapadas de estelita y los troncos están cromados. Los aros de asiento de las válvulas son de hierro de fundición y son de tipo intercambiable.

Las válvulas de escape sellan contra los aros de asiento de la válvula que están directamente enfriados. Estos aros de asiento están hechos de un material resistente a la corrosión y picaduras, y se pueden cambiar.

El eje de camones está formado por piezas separadas, por lo que es posible extraer un pedazo del árbol de levas lateral.

Las bombas de inyección llevan integrado los seguidores del rodillo, y se pueden cambiar mediante el ajuste de la medida de base con el tornillo de leva. Las bombas y las tuberías se encuentran en un espacio cerrado, por lo que se llama "caja caliente", por la operación con combustible pesado. El enfriador de

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

aire de carga (intercooler) está diseñado para un fácil mantenimiento y equipado con un separador de agua (= colector de niebla de agua).

1.3.1.1 Consumo de combustible

Tabla 1. Consumo combustibles.

Fuente: <http://www.wartsila.com/>

	12V50DF		9L50DF		Unidad
	Gas	HFO	Gas	HFO	
Consumo de energía al 100% de carga	7296	-	7296	-	kJ/kWh
Consumo de energía al 75% de carga	7620	-	7620	-	kJ/kWh
Consumo de energía al 50% de carga	8181	-	8181	-	kJ/kWh
Consumo de Gas al 100% de carga	7258	-	7258	-	kJ/kWh
Consumo de Gas al 75% de carga	7562	-	7562	-	kJ/kWh
Consumo de Gas al 50% de carga	8105	-	8105	-	kJ/kWh
Consumo de Fuel al 100% de carga	1,0(*)	189	1,0(*)	189	g/kWh
Consumo de Fuel al 75% de carga	1,5(*)	189	1,5(*)	189	g/kWh
Consumo de Fuel al 50% de carga	2,0(*)	196	2,0(*)	196	g/kWh

(*)Estimación del consumo de combustible diesel experimental en modo del gas.

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

1.3.2 DESCRIPCIÓN DE SISTEMAS AUXILIARES

Existen dos modos de funcionamiento, el modo de gasóleo (combustibles líquidos: fuel pesado o MDO) y el modo de gas. En el modo de gas, el gas de baja presión se mezcla con el del aire de combustión en el canal de entrada de aire en la culata. La mezcla es comprimida en el cilindro durante la carrera de compresión y el encendido se inicia con una pequeña cantidad de combustible piloto que se inyecta en la cámara de combustión.

En los modos de gasóleo (combustible pesado o MDO), el combustible líquido se inyecta en el cilindro al final de la carrera de compresión por medio de la inyección de la bomba.

En los modos de combustible líquido no hay gas mezclado con el aire, pero el combustible piloto es inyectado, para evitar obstrucción en los orificios piloto de la boquilla o tobera.

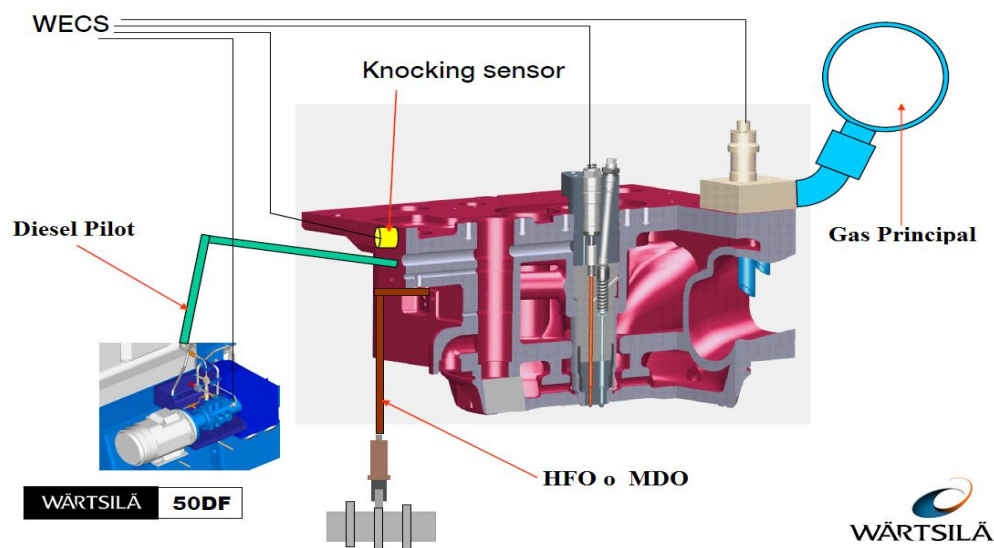


Figura 7. Inyección piloto.

Fuente: Main Generator Engine Wartsila.

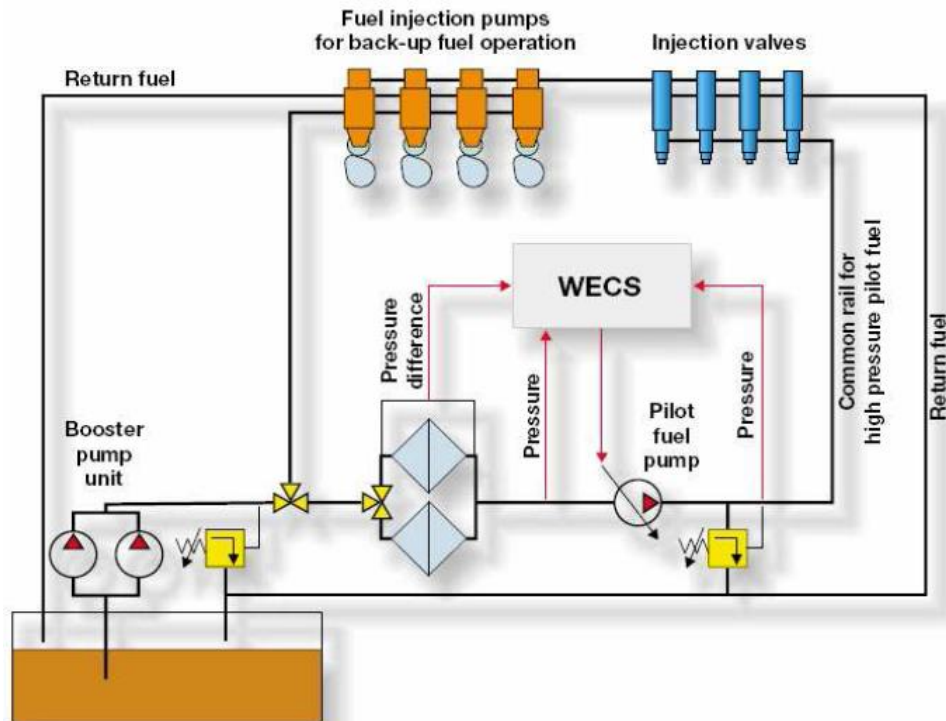


Figura 8. Sistema de combustible
Fuente: Main Generator Engine Wartsila

1.3.2.1 Sistema de combustible

Las tuberías de combustible pesado están bien aisladas y equipadas con calefacción. La capacidad de apagado de la calefacción de las tuberías cuando se trabaja con MDO, debe ser posible en todo momento.

Cualquier disposición para cambiar el tipo de combustible durante la operación debe estar diseñada para obtener un cambio suave en la temperatura y la viscosidad del combustible.

Al cambiar de HFO a MDO, la viscosidad en el motor debe estar por encima de 2,8 cSt. Nunca se debe caer por debajo de 2,0 cSt, incluso durante condición

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

transitoria corta, el gradiente de temperatura debe ser de máxima 4°C por minuto.

Las bombas de inyección son bombas de un cilindro con una función de levas de rodillos. La fuga de combustible es conducida a un sistema de tuberías a la presión atmosférica fuera de la bomba, o de nuevo a la baja presión del circuito de la bomba de inyección. Cada bomba de inyección está equipada con un tope de emergencia, que se añade al sistema electro-neumático de protección de sobrevelocidad.

La línea de inyección de la bomba, se compone de un tubo de inyección y una pieza de conexión, que se adjunta en el soporte, el cual es de entrada de forma cónica.

La llamada "llama piloto" del sistema de combustible es un sistema "common rail", alimentado por una bomba, éste es directamente impulsado por la bomba de engranajes conducida por un extremo del cigüeñal. Una pieza de conexión se monta en cada culata para conectar las tuberías de cada cilindro. Desde la pieza, el combustible se alimenta a través de una tubería con la válvula de inyección. La línea de inyección de combustible principal se compone de dos partes, la pieza de conexión y el tubo de inyección de la bomba de inyección. El extremo esférico de la pieza de conexión se presiona contra el puerto de entrada de la tobera cónica principal a través de una brida. La línea de combustible piloto consta de cilindro de tuberías específicas blindado. Hay piezas de unión en la cabeza del cilindro y tubos de conexión entre la pieza de conexión y la válvula de inyección.

La bomba de combustible piloto es de 8 o de 4 cilindros con pistones radiales impulsados directamente por la bomba de engranajes acoplada en el extremo del cigüeñal. La unidad reguladora de presión está controlada eléctricamente por el sistema de control del motor. En la línea de alimentación, un grupo de válvulas con un filtro regula la entrada de presión a la bomba. Una válvula de

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

seguridad se monta en la línea de alta presión. La válvula de inyección es un piloto combinado y la válvula principal de inyección de combustible, ubicado en la culata. La válvula se compone de dos parte y la boquilla. El combustible entra en el soporte de boquilla hacia los lados, a través de dos tubos de conexión con los extremos esféricos presionados contra el puerto cónico en el soporte.

Antes de que el gas sea suministrado al motor, pasa por un órgano de regulación de gas.

La unidad incluye un filtro de los reguladores, válvulas de cierre y válvulas de ventilación. La presión del gas de salida es controlada por el control sistema (WECS), de acuerdo con la carga del motor y las condiciones del ambiente del lugar. El gas se suministra a través de un tubo común a lo largo del motor, continuando con unos tubos de alimentación individual para cada cilindro. La admisión de gas se controla con la "Válvula principal gas de admisión". La válvula es de accionamiento eléctrico y es controlada por el sistema de control (WECS). La presión principal del gas en el motor se puede comprobar en la pantalla local. Las alarmas se establecen por la diferencia de presión entre el aire de baja presión y la presión del propio gas. La válvula de gas de admisión principal controla la cantidad de gas suministrado a cada cilindro del motor.

En un motor en V, la válvula se encuentra en la culata. En un motor en línea, la válvula se encuentra entre el colector y la tubería de gas del cilindro de entrada de aire.

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

natural licuado de -162°C a unos 20°C , por lo que se genera gran cantidad de vapores en todos los tanques. A parte de las consecuencias tan importantes que sufre la carga por el clima, existen otras variables que incrementan la producción de los BOG. La producción de gases evaporados se puede manipular de diversas maneras con el fin de aprovecharlo en el mismo buque y hacer más eficiente su transporte. Los usos más comunes son:

- Combustible para calderas.
- Utilizarlo como combustible en motores principales duales.
- Para alimentar turbinas de gas.
- Quemarlo en las unidades de combustión de gas (incineradores).
- Relicuarlo y devolverlo a tanques.

En los buques metaneros convencionales los gases producidos en operaciones de carga y descarga (BOG) se comprimen y sirven de combustible en calderas con el propósito de generar vapor para alimentar el sistema de propulsión provisto de turbinas.

Para la recogida de vapores existe una toma que comunica con la parte superior del tanque y gracias al diferencial de presiones entre el interior del tanque (1.06 bar) y en la succión de los compresores (1.03 bar) se produce una circulación natural ascendente a comprimir los gases. Los compresores van situados en cubierta agrupados en un contenedor aislado donde se comprimen los gases hasta 1.96 bar y cae la temperatura hasta -110°C . Como los vapores comprimidos aún están a muy baja temperatura es imposible producir la combustión en la caldera por lo que se dispone de un intercambiador de calor que la incrementa a 25°C y 1.85 bar gracias a un fluido secundario como vapor de agua o agua salada. Durante el recorrido hasta la caldera se reduce la presión a 1.15 bar obteniendo las condiciones óptimas para la combustión.

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

En el momento en que se requiere una demanda de vapor superior a la generada por circulación natural, para alimentar al sistema de propulsión, se dispone de un circuito auxiliar que aumenta el caudal de gases para así generar más vapor en las calderas. La solución es la instalación de una bomba en el interior del tanque que impulsa el líquido a 6 o 7 bar, hasta un vaporizador que utiliza vapor o agua del mar para aumentar la temperatura del gas natural y cambiar su estado a gas. Al salir el gas del vaporizador sale con una temperatura de -40° C por lo que requiere su paso por el compresor e intercambiador antes de ser apto para su combustión.

En la mayoría de ocasiones, esta instalación va provista de un separador situado justo antes de los compresores para asegurar que se comprime cien por cien gas y evitar que entre cualquier partícula líquida y dañe las paletas.

La evolución de los motores diesel para poder consumir gas ha sido impulsada gracias al aumento de su disponibilidad y ventajas de los combustibles gaseosos, principalmente por la reducción de emisiones nocivas y su reducido mantenimiento. La combustión de gas natural produce menos emisiones nocivas debido a sus propiedades y baja contención de contaminantes del combustible reduciendo la producción de dióxido de carbono en un 20% respecto a los motores diesel. Dispone de buenas características para la combustión ya que es más ligero que el aire y tiene una temperatura de ignición elevada que lo hace un combustible seguro.

Cuando trabajan con gas siguen el ciclo Otto, con una premezcla pobre de aire y gas en la cámara de combustión para conseguir gracias a la reducción de las temperaturas máximas, menor producción de gases NOx¹, aumentar la relación de compresión y optimizar los tiempos de inyección. También es necesaria para evitar la auto-ignición.

El gas se introduce dentro del cilindro por la entrada de aire durante la carrera de admisión, en vez de utilizar una bujía para la ignición normalmente usada en

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

motores de gas de mezcla pobre. La mezcla se enciende inyectando una pequeña cantidad de combustible diesel en la cámara de combustión. Su elevada energía asegura la ignición fiable y potente de la mezcla, lo que se necesita cuando se trabaja con una alta potencia específica por cilindro y una mezcla de aire y gas pobre.

Los óxidos de nitrógeno, una vez liberados al aire por las combustiones (NOx) forman, a través de reacciones fotoquímicas, contaminantes secundarios fácilmente detectados como niebla en la atmósfera y que se producen mayormente por motores diésel y de mezcla pobre.

El sistema de extracción del Boil-Off de los tanques para ser enviados a los motores o calderas y a la GCU, es mediante la línea de gas principal. Todo el sistema es ayudado en su conducción mediante la ayuda de dos compresores, nombrados "Low Duty", estos son los encargados de mantener la presión y flujo adecuado para ser quemados.

Principalmente, los motores de 4 tiempos, llevan un sistema de inyección de gas indirecta, es decir, la mezcla aire/combustible coge sitio fuera del cilindro. Debido a la presión de aire de barrido alrededor de los 2 bar, para que el gas pueda ser mezclado debe de estar a una presión superior, es por ello el uso del compresor, por flujo natural de evaporación, no alcanzaría los 3-4 bar de inyección, por tanto la mezcla no se produciría.

Seguendo la línea de gas, nos encontramos primeramente con el "Mezclador", la función de este componente consiste en mantener una temperatura de los gases alrededor de -154 °C antes del "Mist Separator". Para conseguir esto, donde la temperatura media de los gases a la salida de los tanques es de alrededor de los -120 °C, es mediante la mezcla con gas licuado proveniente de los tanques a una temperatura inferior.

Este gas licuado es abastecido mediante las bombas nombradas "Fuel Gas", dispuestas en los tanques 3 y 4 normalmente.

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

La función del “Mist Seperator”, consiste en separar por condensación los componentes de gases con un punto de ebullición menor de los -154°C , de los posibles componentes con un punto de ebullición mayor, que hayan podido ser arrastrados en la evaporación en los tanques. Como se nombró anteriormente en la parte “ Gas Natural Licuado “, no todos los componentes tienen las mismas características.

Por tanto, con este sistema nos aseguramos que a nuestros sistemas de combustión solo pasan gases Metano, con un punto de evaporación a $-161,5^{\circ}\text{C}$, o Nitrogeno, con un punto de ebullición a 196°C .

Los posibles componentes licuados en el “Mist Seperator”, son drenados por gravedad al conocido “Drain Pot”, su función es almacenar dicho liquido, cuando coge cierta sonda, realiza un disparo, inyectando nitrógeno a presión, mandándolos a los tanques 3 y 4.

Una vez tenemos nuestro gas separado, su siguiente fase son los compresores “Low Duty”, a bordo disponemos de dos unidades, uno en funcionamiento y otro en stand-by. Cuya función como anteriormente se ha nombrado, es mantener una presión de descarga y un flujo continuo. Al ser comprimido, los gases cogen presión y temperatura, alrededor de los 5 bar de presión y los 25 grados centígrados.

Debido a que por una mejor combustión, el gas metano debe de ser inyectado para la ignición alrededor de los 33°C , dependiendo de la temperatura de salida de los compresores, este puede ser calentado en el “Gas Heater”, mediante el intercambio con vapor de agua, o enfriado y/o atemperado mediante el “Cooler/Heater”, que usa agua salada con intercambiador.

Estudiando el esquema de la línea de gas, encontramos también el sistema “Forcing Vapor”, este dispositivo es usado cuando tenemos más necesidad de Boil-Off, en nuestra planta propulsora. Es por eso, mediante el uso de la “Fuel

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

Gas Pump”, gas licuado es enviado, y mediante el intercambio de calor con vapor de agua, éste es evaporado, y usado como combustible.

Debido a los márgenes de presiones, alrededor de 50 mbar y 170 mbar, esta capa de gas evaporado, nos puede hacer de tanque de combustible a corto plazo, es decir, se puede dejar subir las presiones en los tanques, para luego poder tener una demanda mayor al Boil-Off natural.

1.4 JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

El objetivo de este Trabajo de Fin de Máster consistirá en rentabilizar al máximo la carga evaporada a bordo (boil off), durante los viajes, mediante cálculos con las diferentes variables en juego. La más importante y significativa de éstas es el HEEL a bordo, con la finalidad última de optimizar el coste del combustible (HFO, D.O), durante el trayecto. Como consecuencia de todo ello y en aplicación de las fórmulas y hojas de cálculo expuestas más adelante maximizaremos las operaciones de carga y descarga, con el consecuente beneficio económico para el armador.

Como principal objetivo deberá estar la racionalización de la cantidad de LNG líquido. Para ello, se debe minimizar el contenido de Heel remanente a bordo después de la descarga ,siguiendo ordenes del fletador. Esto lo podríamos dividir en 2 fases:

Fase 1- Cuando el puerto de carga y el ETA (estimated time arrive) es conocido y llega frio con menos de 750 m³ de heel a bordo.

Fase 2 - Cuando el puerto de carga y el ETA es conocido, llegada en frio con menos de 500 m³ a bordo.

Entre las prioridades debería encontrarse también el minimizar el boil Off generado a bordo durante el viaje y maximizar la cantidad de carga transferida desde el puerto de carga al de descarga.

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

Se debería intentar generar a un ritmo acorde a la demanda en cada momento.

El boil off generado no excederá del 0,15% por día en los tanques habitualmente usados durante el viaje. El armador ejecutará con la debida diligencia y con permiso del fletador y con los medios a su alcance logrando minimizar el boil off de modo forzado tanto con el Forcing vaporizador o forcing LNG de la planta de carga, y maximizará en lo posible el uso de Boil Off natural.

El Capitán, siguiendo ordenes del fletador, optimizará el manejo del Heel basándose sobre todo en los siguientes requisitos de modo que el heel sea eficientemente racionado para asegurar que el buque estará frio y listo para cargar en la fecha prevista por el operador.

Es responsabilidad del Capitán maximizar la cantidad de carga a bordo en concordancia con las instrucciones del fletador, sin que por ello se comprometa la seguridad del buque.

Objetivos de retencion del Heel:

Recientemente han sido incrementadas las iniciativas por parte de los productores y distribuidores de crudo y gas para reducir las llegadas con cierta cantidad de heel y mejorar su manejo a bordo de los barcos.

Sheel tiene una iniciativa cuyo objetivo es reducir el heel a bordo a la llegada.

Estos objetivos se llevarán a cabo en dos fases como ya se ha comentado previamente . En la primera etapa (750 m^3) y en la segunda fase (500 m^3).

BG (BRITHIS GAS) tienen diferentes iniciativas para ayudar a los barcos en la preparación de las operaciones previas a la carga. Llegando éstos con no más de 250 m^3 a bordo BP en sus condiciones de viaje permite el uso de HFO durante el viaje para permitir llegar así con una cantidad determinada de heel a la terminal. Normalmente de acuerdo con los manuales de la compañía el

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

barco debería retener suficiente heel en vista a enfriar los tanques antes de cargar.

Algunos barcos en sus cálculos tienen en cuenta un día de amortiguación y lo tienen en consideración, para que en el caso de que por cualquier circunstancia haya que hacer uso de ese día para poder cuadrar cálculos o fechas. Sin embargo, en circunstancias donde halla objetivos a la llegada bien definidos por el chárter, estos considerarán ya incluidos el día de amortiguación.

La reducción de heel es un logro que lleva implícito aumentar la cantidad de carga y descarga de barcos LNG cuyo precio extra de volumen de descarga hace que merezca la pena el esfuerzo, tanto para el comprador como para el vendedor. Generalmente no existe más requerimiento por parte de la compañía más allá de actuar con la debida diligencia en cada caso, siempre y cuando la consigna sea llegar y enfriar con la minima cantidad de heel posible a bordo. En condiciones seguras la cantidad oficial de heel a la llegada será el ROB (remain on board-remanente a bordo) que marca el sistema de transferencia de datos en el puerto de carga.

La política de la empresa con respecto a la cantidad de heel se podría resumir diciendo que la compañía quiere los barcos con un mínimo de heel después del enfriamiento en el puerto de carga. Preferiblemente con heel en uno solo de los tanques. El heel final después del enfriamiento sería el mínimo nivel de seguridad para poder aspirar con las bombas stripping (teniendo en cuenta el trimado máximo que pueda llevar el barco). Para los barcos equipados con Fuel Gas, también estas bombas tendrán que ser tomadas en consideración.

Sin embargo, no hay ningún requerimiento para habilitar la puesta en marcha de las bombas de stripping /spray después de que el barco haya sido enfriado al menos que se especifique en las ordenes de viaje.

Un tanque una vez enfriado, por el método de un solo tanque, se considera económicamente la forma más efectiva de alcanzar el mínimo heel después de

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

enfriar. La operativa de los buques con menos heel incrementa la capacidad de carga, como ya se ha comentado. Los fletadores también esperan de nosotros que operemos a bordo con el heel de la mejor manera comercial y económicamente hablando.

Una vez observada la evaporación que sufre la carga, abordo existen distintos métodos para manejar el Boil-Off.

El objetivo primordial para solventar los problemas del Boil-Off a bordo, y así proteger los tanques de cargas de sobrepresiones, están divididos en tres grandes grupos:

- El primero de ellos, es venteado el vapor a la atmósfera, siendo este muy poco usado, además de poder ser peligroso.
- Otro método es quemarlo en las calderas o motores, aprovechando de esta manera su poder calorífico.
- Y el otro método, es siendo quemado en la GCU (Gas Combustion Unit), o por último podemos relicuarlo.

El objetivo diario de boil off será garantizado para condiciones estables donde, particularmente el estado con gradiente térmico es alcanzado a través del aislamiento.

La tasa de boil off para garantizar los objetivos será la media de los cálculos corregidos de boil off. En caso de aproximación tanque por tanque este boil off será la media de cada tanque de carga, pesado por su correspondiente capacidad de carga.

Esto será objeto de acuerdo entre las partes, la secuencia de 10 medidas se podrán reducir conduciendo a un valor de media más bajo que el del boil off contratado.

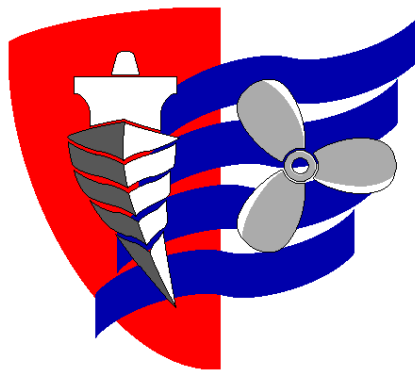
TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

1.5 RELEVANCIA

Creo por la experiencia a bordo de este tipo de Buques (LNG) el trato cuidadoso de las variables que toman parte a la hora de cargar y descargar de gas natural licuado, y aquellas determinantes durante el viaje, lleva parejo un considerable ahorro, y por ende, que la simulación del cálculo estimado de dichas variables resultará beneficioso a la hora de la reducción del consumo de otros combustibles (HFO,MDO), con el consecuente beneficio económico y medioambiental.

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



MEMORIA DESCRIPTIVA

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

2 MEMORIA DESCRIPTIVA

2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El capitán en estrecha cooperación con el primer oficial de cubierta y el Jefe de máquinas decidirán la cantidad de heel necesaria para el viaje en lastre, teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

- Instrucciones del fletador para los viajes en lastre
- Instrucciones operacionales del fletador
- Manual de KOAS(compañía) para el manejo de heel a bordo
- Velocidad requerida y consumo estimado
- Enfriamiento requerido que cumpla los requerimientos de carga
- Porcentaje de Boil off en condiciones de lastre (uno o más tanques usados)
- Consideraciones restrictivas de carga por nivel mínimo o máximo

Los cálculos presentados al armador deberían estar tan desarrollados como nos sea posible. Si el armador nos ha presentado un objetivo de heel al final del viaje, este debería ser la meta a conseguir. Si no hay un objetivo de heel definido la finalidad será dejar la mínima cantidad de hell posible. Preferiblemente bajar al mínimo donde la bomba de spray todavía arranque con el heel del tanque.

Lo que se debe hacer será calcular el heel usado con el método de heel en un solo tanque. Calcular el consumo de fuel usando tablas definidas a bordo y contando con el posible tiempo de fondeo o espera.

Habría que añadir una cantidad adicional para compensar las condiciones climatológicas adversas, las corrientes y si el parte meteorológico es conocido

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

de antemano se debe usar la base de datos del histórico meteorológico disponible y la experiencia para realizar una estima.

Sera necesario una cantidad adicional si el casco del buque esta sucio o por otras razones consume un exceso de combustible y líquido de enfriamiento en cuanto que pensamos enfriar los tanques al final del viaje. La cantidad de liquido necesaria seria aquella para realizar la operacion de enfriamineto al menos una vez.

El objetivo de heel específico a la llegada deberá cumplir el requisito de nivel minimo necesario para poder arrancar la bombas en todo momento,tanto la de sprays como las fuel-gas.

Habrà que tener en cuenta la cantidad compesatoria por Heel envejecido y componentes residuales del etano y LPG.

Fórmula: $A + B + C + D + E + F + G = \text{heel recomendado al armador.}$

La fórmula nos ayuda a calcular el Heel en uno de los tanques por el ya mencionado Método Heel. Explico a continuación el significado de cada variable que lo intengra:

A-Calcula el consumo de Fuel usando los cálculos estimados de viaje a bordo.

B-Calcula el consumo de fuel utilizando la información del fletador con respecto al tiempo de fondeo o espera indeterminada.

C-Cantidad adicional añadida en compensación del tiempo y corriente, en caso de que dichas condiciones sean conocidas de antemano utilizando los datos del histórico meteorológico disponible y estimado por la experiencia.

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

D-Cantidad adicional añadida por consumo excesivo de fuel, para el caso de que el casco sufra deterioro o suciedad.

E-Cantidad añadida de líquido con el objeto de enfriar los tanques al final de viaje. La cantidad de líquido será el necesario para una operación completa de enfriamiento.

F-Objetivo de Heel a la llegada o cantidad mínima necesaria para arrancar la bomba en condiciones idóneas.

G-Compensación por la cantidad de Heel envejecido por etano y LPG residual.

“Cantidades Heel teniendo en cuenta condiciones climatológicas y operaciones de enfriamiento al esperado tiempo de llegada (ETA)”

2.2 HERRAMIENTAS DE RESOLUCIÓN

La mayoría de los buques LNG tienen el problema de Boil-Off, el cual, tiene lugar durante la carga, descarga y el almacenamiento. El LNG es almacenado en estado líquido a una temperatura inferior a su punto de ebullición a presión atmosférica. A consecuencia de la imperfección del aislamiento, el calor entra a los tanques de carga, produciendo un calentamiento de la carga. Entonces, una porción de la carga de LNG evapora, el gas evaporado es el llamado Boil-Off Gas (BOG).

Los porcentajes de BOG diario dependerán de varios factores, como veremos más adelante.

Los requisitos de la OMI, especifican que cada tanque de carga de LNG debe ser cargado al 98% de su volumen total, con el fin de evitar la entrada de cualquier líquido en la tubería de ventilación. Estos requisitos están tomados en

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

cuenta al calcular la cantidad de BOG que se evapora durante el viaje del buque.

Existen razones principales de la evaporación del BOG, la primera y ya comentada es debido a la entrada de calor a los tanques de carga, debido a la diferencia de temperatura de la carga y el exterior. Y otra, es debida al efecto de las superficies libres dentro de los tanques, cuando los tanques están parcialmente llenos, las paredes donde el líquido no esta en contacto, se calientan y cuando por razones externas la carga se mueve y toca o choca contra dichas paredes, produce un calentamiento de la carga, con la consecuencia de su evaporación.

Debido a las distintas temperaturas de ebullición a presión atmosférica de los componentes del gas natural licuado, presentando el Metano $-161,50\text{ }^{\circ}\text{C}$ y el Nitrogeno -196°C , hace que sean éstos los primeros en evaporar, quedando en estado líquido los demás componentes.

Asi, al referirnos al Boil-Off generado, nos referimos básicamente a gas Metano, ya que existen muy bajas proporciones de Nitrógeno, que son evaporadas en las primeras horas después de la carga.

Debido a esta razón, las cualidades de una misma carga, varían con respecto a la descarga.

Para poder ajustar la tasa de BOG generado diaria para cada tipo de tanque y buque, deberán de realizarse una serie de cálculos, obtenidos durante los viajes en carga, y con un mínimo de 10 viajes calculados para poder ponderar una media real. Por esto, los viajes deberán de satisfacer las condiciones siguientes:

- Viajes donde, durante 48 horas o más, el buque se encuentre con un estado de mar por encima de Beaufort 5, en uno o más periodos, en este caso, este viaje será excluido del cálculo.

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

- La presión de los tanques de carga P0, se mantendrá constante a lo largo de todo el viaje en carga, con una tolerancia máxima permisible de 20 mbar. $P_{max} = P_0 \pm 20 \text{ mbar}$.

Para sistemas convencionales de propulsión, la vaporización forzada no será utilizada durante los viajes de medida.

Para situaciones necesarias de vaporización forzada, o retorno de procesos de relieve, estas operaciones estarán restringidas a uno o dos tanques, sinendo estos tanques excluidos de la secuencia de medida.

En cada viaje de medición, el BOR (Boil Off remanente a bordo) diario deberá ser obtenido desde la temperatura y volumen de los sistemas de medida de abordo (Custody Transfer System), y desde la densidad obtenida de los análisis químicos de LNG transportado.

La formula usada para el cálculo son las siguientes y provienen todas ellas del documento externo con número 1392 de la compañía GazTransport & Technigaz. Noviembre 2005 (Sistema de contencion de membranas).

LNG Custody Transfer Handbook, 2nd Edition, G.I.I.G.N.L. 2001.

$$B.O.R. = \left(\frac{1}{C_t} * \frac{(V_1 * d_1 - V_2 * d_2) * L + c_p * V_2 * d_2 * (T_2 - T_1)}{d_m L_m V_1 t} - \frac{C_1}{d_m L_m V_1 t} \right) * 100 \text{ [%]}$$

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

Con:

$$C_t = (1 - \alpha_{air}(45 - T_{air})) \times (1 - \alpha_{sw}(32 - T_{sw})) \times (1 - \alpha_{cof}(5 - T_{cof}))$$

cómo factor de corrección de la temperatura externa.

$$C_1 = \beta * \frac{1.3}{2} \left[(h_{secondary}(\Delta T_{hull} + \Delta T_{secondary})) + (h_{primary}\Delta T_{secondary}) \right]$$

cómo factor de corrección de las condiciones del aislamiento térmico.

Donde:

V_1	(m ³)	Volumen de LNG cargado
V_2	(m ³)	Volumen de LNG a la descarga
d_1	(kg.m ⁻³)	Densidad del LNG en la carga
d_2	(kg.m ⁻³)	Densidad del LNG a la descarga
T_1	(°C)	Temperatura promedio del LNG en la carga
T_2	(°C)	Temperatura promedio del LNG a la descarga
L	(kJ.kg ⁻¹)	Calor latente vaporización de la carga (LNG)
c_p	(kJ.kg ⁻¹ .°C ⁻¹)	Calor específico de la carga (LNG)
L_m	(kJ.kg ⁻¹)	Calor latente de vaporización del metano
d_m	(kg.m ⁻³)	Densidad del metano
t	(días)	Días entre mediciones
$\alpha_{air}, \alpha_{sw}, \alpha_{cof}$		Coeficientes específicos de cada buque

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

T_{air}	(°C)	Temperatura ambiente media del viaje
T_{sw}	(°C)	Temperatura agua mar media del viaje
T_{cof}	(°C)	Temperatura media de los coferdams del viaje
β	(kJ.m ⁻¹ .°C ⁻¹)	Coefficiente específico de cada buque
$h_{secondary}$	(m)	Ancho de la barrera secundaria
$h_{primary}$	(m)	Ancho de la barrera primaria
ΔT_{hull} (°C)	Diferencia de temperatura en la barrera entre el final de la carga y el principio de la descarga.	
$\Delta T_{secondary}$ (°C)	Diferencia de temperatura en la barrera secundaria entre el final de la carga y el principio de la descarga.	

Análisis de la fórmula:

Factor de corrección en la variación de la temperatura (Ct)

Los valores estimados en la ecuación general representan el equivalente Boil-Off puro de metano en las condiciones externas de diseño. Para un viaje específico, las temperaturas medias de la temperatura ambiente, del agua del mar y de los cofferdams pueden variar. Para conseguir un valor más preciso, es conveniente determinar el Boil-Off teniendo en cuenta las variaciones de las temperaturas.

Factor de corrección de las condiciones de temperatura de las barreras aislantes (C1)

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

Cuando un buque llega al puerto de carga después de un viaje en lastre sin enfriar los tanques, o con una bajada de la temperatura limitada, el gradiente térmico en distintas zonas de los mamparos y barreras, se desvia significativamente de la condición de estado estacionario frío.

Durante y después de la carga, estos gradientes térmicos cambian lentamente hacia el estado estacionario frío, pero no es hasta varias horas después de la carga, estimado sobre mas de 10 horas, que se alcanza el estado estacionario frío correcto. Durante este periodo de tiempo, una parte de calor contenido en las barreras es transferido a la carga, con la correspondiente producción de Boil-Off.

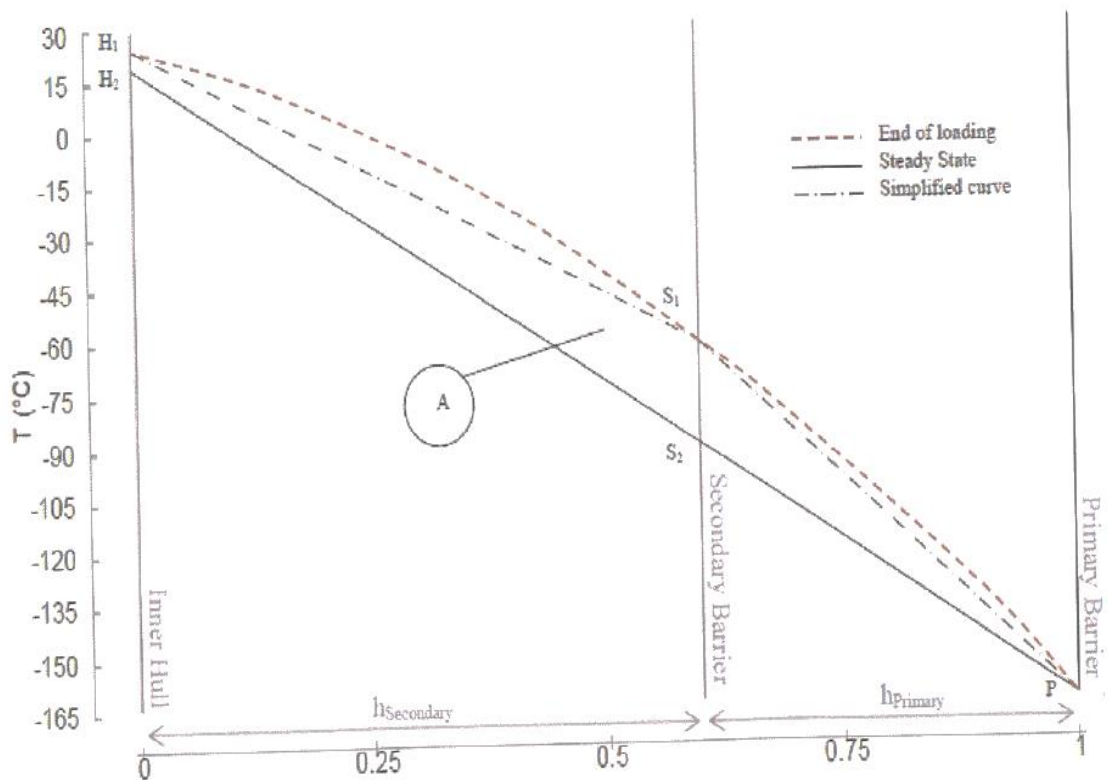


Figura 10. Temperatura en el sistema de contención de la carga.

Fuente: McGuire and White, (2000)

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

En la gráfica anterior, puede apreciarse las diferencias de temperatura que existen en todo el sistema de contención de la carga, desde la barrera primaria, hasta el mamparo interior del doble casco, cuando se acaba de realizar la carga, y el estado estacionario frío final. Se puede observar en la barrera primaria, que enseguida que se pone en contacto con el LNG, esta alcanza su temperatura inmediatamente.

La superficie A, es el calor (Q) evacuado al producirse la evaporación, y por tanto, generación de Boil-Off.

A continuación vamos a realizar el cálculo de dicha área.

La cantidad de calor necesaria para completar el enfriamiento del aislamiento esta dada por la ecuación:

$$Q = \int c_p \Delta T d_m = \int c_p \Delta T \rho dV$$

siendo:

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

Q	(kJ)	Cantidad de Calor .
c_p	(kJ.kg ⁻¹ .°C ⁻¹)	Calor específico del aislamiento
d_m	(kg)	Masa de aislamiento afectada por la variación de temperatura
ΔT	(°C)	Variación de temperatura entre el final de la carga y el estado estacionario.
ρ	(kg.m ⁻³)	Densidad del aislamiento afectada por la variación de temperatura
dV	(m ³)	Volumen de aislamiento afectado por la variación de temperatura

Estos factores varían dependiendo de la anchura de las barreras de aislante, por lo tanto, la ecuación puede ser escrita como :

$$Q = \int_0^h c_p(x) \Delta T(x) \rho(x) S(x) dx$$

donde:

TRABAJO FIN DE MÁSTER	
INGENIERÍA MARINA	

x	(m)	Distancia desde el interior del doble casco
h	(m)	Espesor del aislamiento
S	(m ²)	Superficie del aislamiento a la distancia x

Valores medios equivalentes pueden utilizarse para el calor específico, la densidad y la superficie del aislante, entonces la ecuación se simplifica en:

$$Q = c_{p(insulation)} \rho_{insulation} S_{insulation} * \int_0^h \Delta T(x) dx = \beta * \int_0^h \Delta T(x) dx$$

Para cada buque, dependiendo de la tecnología en el sistema de aislamiento, su anchura o la distribución de los tanques, el coeficiente β es diferente, entonces podemos calcularlo como:

$$\beta = c_{p(insulation)} * \rho_{insulation} * S_{insulation}$$

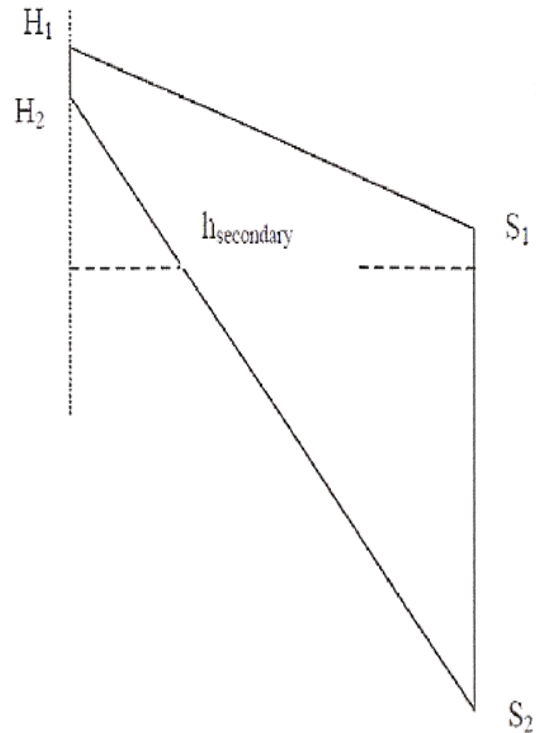
Para calcular la integral, es apropiado separar la barrera de aislamiento primario, del secundario, por lo tanto, la integral queda:

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

$$\int_0^h \Delta T(x) dx = \int_0^{h_{secondary}} \Delta T(x) dx + \int_{h_{secondary}}^{h_{primary}} \Delta T(x) dx$$

Para la barrera de aislamiento secundario, la superficie entre las curvas es aproximadamente la superficie de un trapecoide, entonces podemos considerar el área A_1 como :

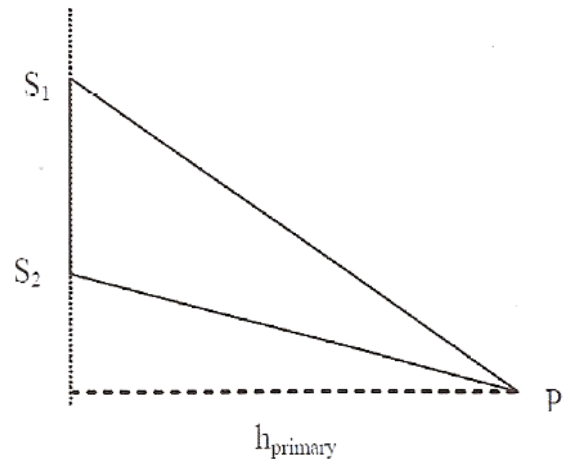
$$A_1 = \frac{1}{2} h_{secondary} (\overline{H_1 H_2} + \overline{S_2 S_1})$$



Para la barrera de aislamiento primario, la superficie entre las curvas es aproximadamente un triángulo, entonces, podemos calcular el área A_2 como :

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

$$A_2 = \frac{1}{2} h_{primary} \overline{S_2 S_1}$$



Estudios, han experimentado que la diferencia entre la superficie real y la calculada teóricamente mediante la aproximación a un trapezoide en la barrera secundaria, y el triángulo para la barrera primaria, es alrededor de 1.3 veces mayor . $1.3 \times (A = 1.3 \times (A_1 + A_2))$.

Por lo tanto, usando las ecuaciones anteriores, la integral de la ecuación es aproximadamente:

$$\int_0^h \Delta T(x) dx \approx 1.3 * \left(\frac{1}{2} h_{secondary} * (\Delta T_{hull} + \Delta T_{secondary}) \right) + \frac{1}{2} * h_{primary} * h_{secondary}$$

$$C_1 = \beta * \frac{1.3}{2} [(h_{secondary}(\Delta T_{hull} + \Delta T_{secondary})) + (h_{primary} \Delta T_{secondary})]$$

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

donde:

β	(kJ.m ⁻¹ .°C ⁻¹)	Coeficiente dependiente de las características del aislante
$h_{secondary}$	(m)	Anchura barrera secundaria
$h_{primary}$	(m)	Anchura barrera primaria
ΔT_{hull}	(°C)	Diferencia de temperatura en la pared interior del doble casco entre el final de la carga y el estado estacionario.
$\Delta T_{secondary}$	(°C)	Diferencia de temperatura en el interior de la segunda membrana, entre el final de la carga y el estado estacionario.

Coeficientes específicos ($\alpha_{air}, \alpha_{sw}, \alpha_{cof}$)

Los valores de los coeficientes usados en la fórmula general para la corrección de las variaciones de temperatura desde la condición inestable, varían según el volumen total de los tanques de carga, en el caso de LNG de 176.300 m³, son los siguientes.

β (MJ.m⁻¹.°C⁻¹) : coeficiente total de condiciones inestables = 6141

con la siguiente evaluación, dependiendo del tanque:

- Coeficiente individual para el tanque nº 1 = 1077
- Coeficiente individual para los tanques nº 2, 3 y 4 = 1687

α_{air} : coeficiente de la temperatura ambiente = 0.00217
 α_{sw} : coeficiente de la temperatura agua de mar = 0.00202
 α_{cof} : coeficiente de la temperatura coferdams = 0.00118

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

2.2.1 FÓRMULA GENERAL

La fórmula comúnmente aceptada hoy en día, no solo se refiere a la cantidad de LNG evaporado, sino que también tiene en cuenta el incremento de la entalpía de la carga líquida. Es a menudo conocida como la fórmula “Shell”, porque fue inicialmente propuesta por Shell para un proyecto en Australia.

Una parte del calor ganado es absorbido por la vaporización del LNG. Esta cantidad es calculada midiendo la pérdida de masa de la carga líquida entre la carga y la descarga, es calculado de la siguiente forma:

$$(V_1 * d_1 - V_2 * d_2) * L \quad (kJ)$$

La segunda parte del calor ganado provoca un incremento de la temperatura de la carga entre las condiciones de carga y descarga, es calculado de la siguiente forma:

$$c_p * V_2 * d_2 * (T_2 - T_1) \quad (kJ)$$

La suma del calor total ganado es dividida por el número de días de viaje, para obtener el calor ganado por día. Este calor ganado por día es convertido a una fracción de una carga equivalente de metano puro, dividiéndolo por el producto de la masa teorica de metano y el calor latente de vaporización del metano.

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

Obtenemos así, la fórmula general para medir la tasa de Boil-Off

$$B.O.R._{Nominal} = \frac{(V_1 * d_1 - V_2 * d_2) * L + c_p * V_2 * d_2 * (T_2 - T_1)}{d_m L_m V_1 t}$$

Sistema de contención de membranas .Documento externo con número 1392 de la compañía GazTransport & Technigaz. Noviembre 2005

2.3 METODOLOGÍA

En este apartado se explicará primero los métodos de contención, relevante para la obtención de las variables determinantes de este trabajo para comprender mejor los cálculos definitivos.

Además de ello se describe las seguridades adoptadas en el manejo de dicho gas, ya sea en caso de sobrepresión o similares.

Por último, se comenta brevemente los modos operativos y de funcionamiento a bordo con el gas.

2.3.1 MÉTODOS DE CONTENCIÓN DEL HEEL A BORDO

2.3.1.1 *Heel en todos los tanques*

Pros:

- Todos los tanques listos y en condiccion de carga
- No se requieren operaciones de esprayar los tanques para su enfriado

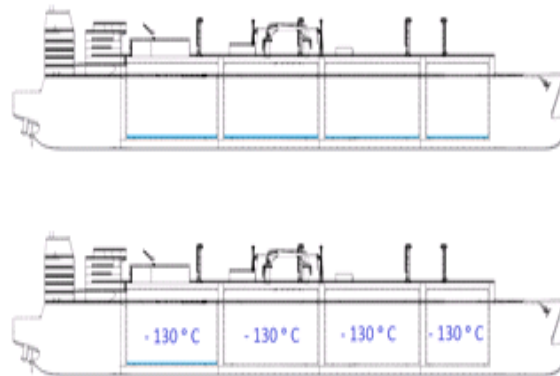
Contras:

- Gran cantidad de Heel abordo (minimo 10 cm en cada tanque.LNG deteriorado.
- No se puede reducir el promedio de BOG si las órdenes fueran de ir con poca máquina o velocidad (Deberíamos entonces quemarlo en la GCU)
- Mayor dependencia de las condiciones climatológicas
- Exceso de Boil Off
- (Por ordenes del Charter) Los buques deberán minimizar siempre que sea posible la quema de Boil off en la GCU



Load port

- > Ship to be cold and ready to load at NOR
- > Cold tanks with liquid
 - > Pros
 - > No/minimum heating down required
 - > Tank pressure will not be a problem if tanks warm between CTS 1 and opening of vapor return at load terminal
 - > Less vapor generated during start of loading
 - > Cons
 - > Greater amount of fuel
 - > More amount of methane in the gas phase
- > Cooled down in the end of voyage
 - > Pros
 - > Less fuel
 - > Cons
 - > Tank pressure problems if tanks in load port between CTS 1 and opening of vapor return. (Not allowed to burn gas in port)
 - > More vapor generated in the beginning of the loading
 - > More NG needed as the tanks warm down
 - > High temperature in the tanks increasing BOG in the beginning of the voyage
- > On a 150' ship there will be roughly 200 m³ more LNG present in the gas phase when tanks average temperature is -150°C compared to a average tank temperature at -130°C. This extra amount of LNG will add up to 800 to 100 tons not accounted for in CTS 1.



10.12.2013

Bilbao

Figura 11. Carga repartida.
Fuente KnutsenOas Heel Course

2.3.1.2 Heel en un solo tanque

Pros:

- Menos BOG considerando que un solo tanque lleva Heel
- No hay Heel en tanques calientes
- Menos Heel requerido

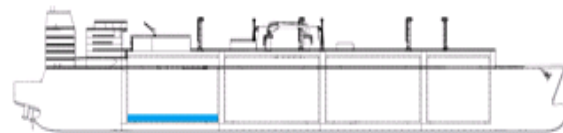
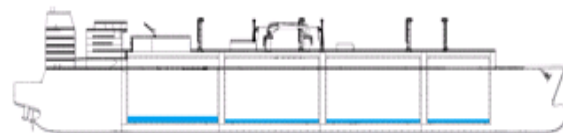
Contras:

- Tendencia de los tanques a calentarse
- Necesidad de sprayar para generar Boil Off
- Membranas más calientes
- No se podrá enfriar tanques mientras se permanezca fondeados
- Extra Heel por baja calidad del LNG (Perú)



Method of retaining heel

- ☐ Heel in all tanks
 - ☐ Pros
 - ☐ All tanks ready to load condition
 - ☐ Little/no spraying required
 - ☐ Cons
 - ☐ A lot of heel onboard
 - ☐ Min 10 mm in heel tank
 - ☐ Deteriorated LNG
 - ☐ Can't reduce BOG rate if speed if ordered to slow down (Must dump or burn in GCU)
 - ☐ Weather affections
 - ☐ Suezatoll off gas
 - ☐ (Charterer's instructions) if heels must always plan to minimize the damage of gas via GCU
- ☐ Heel in one tank (two)
 - ☐ Pros
 - ☐ Less BOG considering only one tank has heel
 - ☐ No heel in warm tanks
 - ☐ Less heel required
 - ☐ Cons
 - ☐ Tanks warming up
 - ☐ Need for spraying to generate BOG
 - ☐ Hotter membranes
 - ☐ Can't cool down while at anchor
- ☐ Extra heel due to low quality LNG (Peru)



10.12.2015

Bilbao

Figura 12. Método de retención de heel .

Fuente KnutsenOas Heel Course

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

2.3.1.3 Puerto de carga

El barco debera estar frio y listo para cargar en el Puerto de destino

Enfriar tanques con líquido

Pros:

- No existe un enfriamiento mínimo requerido
- La presión en los tanques no será un problema si hubiera retraso entre el CTS 1 (Custody transfer System) y la apertura del retorno de vapor a la terminal .
- Menos vapor generado durante el comienzo de la carga

Contras:

- Excesiva cantidad de Heel
- Extra cantidad de metano en fase gas
- Enfriamiento al finalizar el viaje

Pros:

- Menos heel

Contras :

- Problemas con la presión de tanques si se retrasa en el Puerto de carga entre CTS 1 y la apertura del retorno de vapor . (No esta permitido quemar gas en puerto))
- Más vapor generado al comienzo de la carga
- Necesidad de más Nitrógeno para el enfriamiento de las barreras
- Alta temperatura en las barreras incrementando el BOG al comienzo del viaje.

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

2.3.1.4 Final de la descarga y planificacion de viaje

- a) Cálculo del Heel
- b) Ordenado velocidad y ETA
- c) Consume de fuel en viaje de lastre
- d) Espera/Fondeaje
- e) Condiciones climatológicas (severas)
- f) Enfriamiento
- g) Buffer (1-día extra)
- h) Enfriamiento de tanques a la llegada
- i) (enfriar hasta la fecha)
- j) Heel a la llegada
- k) Minimo nivel exigido para arrancar la fuel pump
- l) Ordenes especiales del fletador
- m) Areas de emisiones restrictivas (SECA)
- n) Gas only / HDME 50 fuel (steam)
- o) Gas only / MGO (DF)
- p) Extra heel para compensar el pobre contenido en metano
- q) Tener en cuenta las limitaciones en el Puerto de carga (retrasos comunes , etc.) que pueden afectar a la presión de los tanques

2.3.1.5 Heel out y Métodos Heel

Existen varios métodos para obtener unas condiciones idóneas de carga a bordo.

Para un tanque de membrana podemos utilizar dos formas para dejarlo listo para cargar .

1. Un tanque esta listo para cargar, si la atmósfera del vapor en el tanque tiene una media de unos -130 grados (excluyendo el domo). Esto se conoce como método en un solo tanque, ya que solo dejaremos Heel precisamente solo en uno de ellos.

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

2. Un tanque esta listo para cargar si el suelo completo esta cubierto con un minimo de 10 cm de líquido, (algunas veces 12)

Esto se conoce como el método de todo los tanques con heel.

Un tanque con Heel, una vez enfriado, es considerado el mejor método comercial, al ser muy flexible. Las ventajas de tener Heel en un solo tanque, entre otras, es la flexibilidad para ajustar el BOR, el Heel BOR al final del enfriamiento es menor, la flexibilidad del impacto climatológico es mejor y habrá menos metano y residuos de LPG en los tanques, requiriendo menos Heel para enfriar estos.

2.3.1.6 Viaje con Carga

Mantenimiento y requisitos de las condiciones en carga :

- a) Si no tenemos instrucciones en contrario del charter, mantenemos la temperature de la carga.
- b) -Si se necesita reducir la presion de los tanques
- c) -Tener en cuenta requisites (presión,temperatura, recibidos por la terminal)
- d) -Se excluirá un periodo, si se necesita aumentar la velocidad
- e) -Standard de Industria (10 kpa or -159,5 °C)
- f) -Observar si la curva presion/temperature es acceptable
- g) -Cove Point, Montoir, Altamaira... requieren presiones de llegada en valores absolutos (no podemos controlar el tiempo ni las altas y bajas presiones)
- h) -Ruta mas corta
- i) -DF: Al menos una cantidad de horas en ME
- j) -No alargar la ruta para gastar BOG (siempre ruta mas corta)
- k) -Arrancar la GCU para controlar la presion en los tanques durante el enfriamiento

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

-Vapor (turbineros) :

-Se podría navegar una distancia mas larga para consumer el BOG (siempre que el fletador este acorde)

Cargando a baja presión los requisitos serian:

Pros:

- Tempertaura de carga más baja
- Presión de tanques más baja despues de la carga
- Más capacidad para transportar LNG
- BOG más bajo entre toma de datos al inicio y final de las operaciones
- Nos acercamos más a las especificaciones del Charter

Contras:

- Aumento de la presión de retorno
- Restricciones de la terminal
- Que la terminal acepte las condiciones de presion en los tanques
- Mas cantidad de BOG si el fletador quiere quemar menos fuel
- Limitación operacional abordo (LD HD TPS)
- Limitaciones de los motores duales
- Limitaciones de las turbinas

2.3.2 GESTIÓN DEL GAS

El sistema de gestión del gas (GMS), actúa para mantener la presión del tanque de carga dentro de límites de funcionamiento normales. También incluye la función de seguridad automática, ésta actúa en caso que la presión del tanque exceda los límites de funcionamiento normales.

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

La presión del tanque de carga será controlada calculando el Boil Off Natural (NBO) mediante el regulador de la presión del tanque. La señal de NBO calculada se utiliza para calcular la carga de los motores DF.

Los compresores LD (Low Duty) son los que mantienen la presión de gas combustible constante para los generadores DF. Una válvula de sobrepresión (de retorno al tanque de carga) está instalada y controlada por el GMS para evitar que haya alta presión de combustible gas en el motor DF durante la reducción de la carga.

El “forcing vaporiser” se usa para generar Boil Off forzado (FBO). Esto puede ser utilizado en caso de modo gas solamente, o en caso de que el operador necesite obtener una carga más conveniente de gas para los generadores DF.

La unidad de combustión del gas (GCU) se utiliza para ayudar a controlar la presión del tanque, si por alguna razón la presión sobrepasase los límites normales.

La última medida de control de presión del tanque es abrir la válvula de venteo. Este control también se incluye dentro del GMS.

2.3.2.1 Sobrepresión

Para proteger los tanques de carga contra la sobrepresión debido al NBO, este gas tiene que ser consumido por los motores DF, ser quemado por la GCU o bien, ser enviado a la atmósfera por el venteo. De las tres opciones señaladas, lógicamente, la que hay que procurar siempre es la primera, y en caso de que los motores no puedan absorber más gas, quemarlo en la GCU. Los compresores LD suministrarán el gas natural proveniente de la ebullición natural del gas a los motores DF y a la GCU para usarlo como gas combustible. De esta manera se mantiene la presión estable. Si los motores DF requieren menos gas combustible, es decir, que hay demasiado Boil Off y no se ha consumido, entonces la presión del vapor en los tanques aumentará, con los

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

riesgos que ello conlleva. Para evitar el aumento de la presión, se debe poner en marcha la GCU para quemar el NBO sobrante.

2.3.2.2 Baja presión

Para proteger los tanques de carga y evitar situaciones de vacío o baja presión, los motores DF tendrán que cambiarse a modo DO. Si bien, como ya se ha comentado antes, si el NBO no fuese suficiente para abastecer el consumo de los generadores, se recurrirá a forzar la vaporización mediante el “forcing vaporizer” antes de cambiar al modo DO.

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

2.3.3 METODOLOGIA Y TABLAS DE CÁLCULO PARA HEEL&ROB

En la siguiente paginas vemos la tablas que hemos creado para llevar un tipeo del Heel que estimamos dejar a bordo en los viajes en lastre y otro con el desarrollo día a día de navegación, con el ROB.

Podemos observar por dichas tablas los parámetros más importantes a tener en cuenta a la hora de elaborar estos cálculos.

A la hora de determinar la tasa de Heel, vemos que debemos conocer no solo la cantidad estimada que queremos sino la disposición de éste en los diferentes tanques .

Entre las diferentes variables contaremos con:

- La distancia hasta llegar a puerto de destino
- La velocidad a la que tendremos que ir para llegar en el ETA acordado
- Si tendremos permiso del fletador para consumo de Fuel
- La cantidad almacenada extra con el que contaremos
- La cantidad reservada para enfriamiento

Con todo ello haremos un sencillo cálculo donde iremos sumando:

- El consumo diario
- Los gastos adicionales por esperas, demoras, tiempos de fondeo, retrasos inesperados...etc.
- Se computan a todo esto los márgenes lógicos previstos, por condiciones adversas meteorológicas, márgenes de seguridad, enfriamiento de líneas.
- Contamos también con un nivel mínimo para el arranque seguro de las bombas y por último estimamos el contenido del metano para aplicar la correccion.

En la otra tabla llevaremos un registro dirio del Heel en cada momento a bordo y su consumo.

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

Tabla 3 Cálculo de Heel para viaje en lastre

Fuente :Checklists usados por la compañía

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

Heel claculation for ballast passage					
Ship name	Sevilla Knutsen	Voy. #	SEVILL-201701B	Date	26.01.2017
From port	Hachinohe (Japan)	Distance to next port	4070	Buffer/extra	0
To port	Barrow Island (Australia)	Days sailing	13,8	Cold until date	09.02.2017
ETA next port	09.02.2017	Ordered speed	12	Non CH4 content	6,00 %
Tanks with heel	1	Fuel operating mode	NBOG		

Comment:

Heel in CoT#1, CoT#2 & CoT#3 as soon as departure will be stripped out by the stripping pumps to CoT#4.
The quantity is to have enough margin to start the stripping pump of each tank.
The voyage is in NBOG mode. We go to use the Methane as coolant.

		Days	BOG/day	Tot	Remarks
1	Daily consumption	13,8	117	1614,6	
2	Anchorage	0	0	0	
3	Waiting	0		0	
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17	Buffer			0	
18	Weather margin			0	
19	Safety margin			0	
20	Lines cooldown			0	Arrive with lines in warm condition
21	Cooldown			642	
22	Minimum heel on arrival	Inc. Safety Margin		385	
23	Coorection for methane content			158	
	TOTAL			2800	

Heel distribution					
	CT 1 m³	CT 2 m³	CT 3 m³	CT 4 m³	Total
Initail heel	189	353	321	1937	2800
Minimum heel on arrival	0	0	0	385	385

En la tabla se tiene en cuenta el BOG diario. Si las instrucciones de viaje cambiaran las celdas azules se actualizarían en la fecha de modificación.

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

Se exponen en esta y en las siguientes páginas de este capítulo los cálculos detallados en Excel correspondientes a los viajes en el Buque Sevilla Knutsen, tanto en lastre como en carga durante el año 2016.

Este modelo de hoja de cálculo es exclusivo para el uso y registro de los datos a diario, para facilitar con ello el cálculo de los parámetros de Heel y R.O.B, LNG y demas variables comprometidas durante el viaje, con tan solo ir añadiendo de forma puntual los cambios en las variables registradas que lo componen. Nos encontramos con dos tipos de hojas de cálculo:

-En el primer tipo la variable a determinar será la del Boil Off (BOG), para ello necesitaremos obtener del IAS (Integrated Automation System) y del CTS (Custody Transfer System), todos ellos datos disponibles desde las pantallas del control de carga (CCR):

Datos:

- Cantidad de gas enviado a los motores desde los tanques (con la bomba de Fuel)
- Cantidad de gas consumido por estos.
- Cantidad de gas consumida en la GCU
- LNG a bordo (es decir el Heel) ROB
- Presion y temperatura en tanques

En las entradas a puerto se imprime en la pantalla del CTS en momentos puntuales, para llevar en cada instante el recuento de líquido a bordo y de gas consumido. Estos tiempos en detalle se reflejan en la tabla abajo expuesta y serian entre otros :

- Final de viaje (o interrupción de viaje en su defecto)
- Hora de inicio y fin de fondeo

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

- Hora de embarque de practico
- Inicial y final del CTS
- Al mediodia
- Reanudacion de via

Tabla 4 Cálculo de ROB diario

Fuente : Checklists usados por la compañía

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

Day by day development of heel ROB					
Ship	Sevilla Knutsen	Voy. #	SEVILL-201701B	Date	26.01.2017
From port	Hachinohe (Japan)	Distance to next port	4070	Buffer/extra	
To port	Barrow Island (Australia)	Days sailing	13,8	Cold until date	09.02.2017
ETA next port	09.02.2017	Ordered speed	12	Non CH4 content	6,00 %
Tanks with heel	1	Fuel operating mode	NBOG		

Comments:

Instructions: All blue shaded cells shall be filled in at the planning stage of the voyage. All orange cells shall be filled in during the voyage. If the voyage instructions changes during the voyage the blue cells after the day of change shall be updated for the modified voyage. This form shall be filled in and sent to lrs@knutsenoas.com and vessel inspector at the beginning of the voyage, in the end of the voyage and if the voyage changes.
See comments in ceels on how to fill in correctly

Day	Expected ROB Heel	Actual ROB Heel	Expected weather, based on forecast	Actual Weather	Planned BOG	Actual BOG	Operating mode	Comments: Changes in ETA, destination, delays in loading, changes in operating mode, spraying, transferring of heel etc.
26.jan	2800	2813	FAIR	FAIR				FAOP. Transferring from CT#2.
27.jan	2560	2639	FAIR	FAIR	240	174	NBO	Transferring from CT#3 & CT#1 to CT#4.
28.jan	2330	2469	FAIR	BAD	230	170	NBO	
29.jan	2155	2298	FAIR	FAIR	175	171	NBO	
30.jan	1980	2125	FAIR	FAIR	175	173	NBO	At 2130 hrs LT, received orders from Shell Vessel's Operator in order to set our ETA to Gorgon on February 07th @ 06:30 hrs (two days earlier)
31.jan	1820	1952	FAIR	FAIR	160	173	NBO	
01.feb	1680	1789	FAIR	GOOD	140	163	NBO	At 08:00 hrs, reduced to 56 rpm due to pressure in cargo tanks dropped. Received permission from Charterer for spraying the dry tanks in order to rise BOG to MGE's in order to adjust vessels ETA to arrive to Gorgon the 07-Feb 06:30hrs lt. (Firstly passing via Dampier for pickning up SDP's). Therefore, cargo tanks are sprayed for 2 hours.
02.feb	1575	1639	FAIR	FAIR	105	150	NBO	At 15:05 hrs received new orders from Charterer. Vessel must set ETA to Gorgon on February 06th'17 @ 06:30 LT (one day earlier). Increased Vessel's speed to 18.5 knots. Spray cargo tanks for 2 hours and 45 minutes.
03.feb	1485	1416	FAIR	FAIR	90	223	NBO	Spray cargo tanks for 3.5 hours.
04.feb	1395	1174	FAIR	FAIR	90	242	NBO	Spray cargo tanks for 3.5 hours.
05.feb	1305	964	FAIR	FAIR	90	210	NBO	Spray cargo tanks for 2 hours.
06.feb	1215	838	FAIR	FAIR	90	126	NBO	Start to cooling down. Arriving at Gorgon Pilot Station
07.feb	1125				90	838		
08.feb	755				370	0		
09.feb	385				370	0		

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

						If more than 500 m ³ heel on board at CTS, please comment:
Tank	Estimated Heel on arrival	Estimated cool down qty.	Actual heel on arrival	Actual cool down qty.		
1	0	400	0			On January 30th at 2130 hrs LT, received orders from Shell Vessel's Operator in order to set our ETA to Gorgon on February 07th @ 06:30 hrs (two days earlier). On February 02nd at 1505 hrs LT; At 15:05 hrs received new orders from Charterer. Vessel must set ETA to Gorgon on February 06th'17 @ 06:30 LT (one day earlier).
2	0		0			
3	0		0			
4	365		795			

2.3.3.1 Viaje en lastre: Manejo de los tanques durante el viaje en lastre

El Heel a bordo debería ser retenido en un solo tanque, o en dos si la cantidad de heel es mayor que las restricciones por mínimo nivel de carga en ese tanque en concreto.

Los tanques que no contengan Heel tenderán a secarse y a calentarse. Los tanques secos producirán un BOG limitado.

Si la demanda de BOG para la propulsión es mayor que el remanente BOR de Heel en el tanque, los tanques secos podrían ser sprayados con el fin de crear vapor en vez de usar el forcing vaporizador. Cuando se requiera un sprayado continuado, manteniendo la temperatura del vapor por encima de -70 limitará la acumulación de etano y LPG en el fondo del tanque.

Si al final del viaje el heel no fuera suficiente, hay flexibilidad para usar el HFO y reducir el BOR. El uso de HFO debe ser aprobado por el fletador. Normalmente el chárter tiene conocimiento del uso de HFO, ya por las instrucciones de viaje o mediante petición previa.

LPG, etano y heel envejecido :

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

Los gases procedentes del petróleo líquido, con el etano, tienen una temperatura más alta de ebullición que el metano. El etano y LPG es parte de la carga en los LNG apareciendo en distintas concentraciones dependiendo de los procesos de tratamiento en las plantas de craqueo y de las fuentes de alimentación del gas .

No hay forma de restringir el contenido de etano y LPG en el heel pero si existen maneras de prevenir la aparición de éstos en algunos tanques y minimizar el incremento de concentración de etano y LPG en el heel a bordo, lo que conocemos vulgarmente por heel envejecido (Heel ageing)

Cuando el LNG es llevado a su punto de ebullición, los componentes más ligeros se vaporizaran primero .El nitrógeno y el metano son los segundos componentes más ligeros y tienen el punto de ebullición más bajo. Lo que queda de remanente son los componentes más pesados, como ya dijimos el LPG y etano. Con el paso del tiempo la composición irá cambiando y el contenido en etano y LPG se convertirá en mayor proporción que el de metano y nitrógeno. Puede verse como la temperatura del LNG en los tanques subirá.

Evitando el etano y el LPG

Por medio del secado de los tanques y el calentamiento por encima del punto de ebullición del etano y el LPG, los tanques podrían mantenerse libres de etano y LPG condensado.

El tiempo y la cantidad de LNG requerida para el enfriamiento de los tanques sera menor si el tanque esta libre de etano y LPG .

Evitando el envejecimiento del Heel

El vapor resultado de vaporizar boil-off forzosamente al LNG en un tanque consiste en su mayoría de metano .El etano y el LPG permanece con el LNG. Cuando el LNG es vaporizado mediante sprayado usando el forcing Vaporizer el contenido de la mezcla de vapor será la misma que la del LNG. Generando

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

vapor mediante sprayado en los tanques secos el etano y el LPG también se vienen arribar por el conducto principal de vapor.

En los tanques donde la temperatura es demasiado baja, el etano y los gases más pesados en el vapor, se condensarán y regresarán al líquido. Lo mismo ocurre en los buques con propulsión de motores duales DFDE (Dual Fuel Diesel Electric), donde el vapor pasa a través de la línea del mezclador. La mayoría de los gases más pesados se condensarán en el “mist separator” y retornarán al heel del tanque.

Los ensayos de fatiga nos permiten calentar los tanques a temperatura ambiente. El número de ciclos de temperatura que los sistemas de membrana pueden soportar sin exceder las expectativas de vida del propio barco. No existen limitaciones en cuanto a la temperatura de incremento en un tanque en los viajes en lastre. El Heel empleado en mantener los tanques parcialmente fríos podría fácilmente sobrevenir del heel de enfriamiento a temperatura ambiente y además no es económico.

Generalmente se enfrían los tanques una vez por viaje .

Cada enfriamiento requiere Heel LNG para reducir la temperatura del vapor. La cantidad de vapor creado, como resultado una vez enfriado, es normalmente más elevada que la demanda de propulsión .El buque normalmente por ende dumppeará vapor o quemará en la GCU en orden a controlar la presión. Esta es energía desperdiciada. Normalmente los fletadores demandan el uso de la GCU o la Dumping para mantener la presión en mínimos.

Si disponemos de tiempo suficiente durante el viaje , el enfriamiento puede ser hecho en varios pasos, en un periodo de más días y así el buque puede utilizar el BOG para la propulsión. Esto puede resultar en algunas ocasiones más económico cuando se requiere heel para la propulsión o el enfriamiento y así prevenimos quemarlo en la GCU o dampearlo.

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

El enfriamiento debería hacerse bajo las recomendaciones de los fabricantes de los sistemas de contención de la carga. Enfriar los tanques más allá de lo requerido, y en algunos casos de lo permitido, requiere además un exceso de heel en cantidad a bordo.

Si se ha acumulado LPG caliente en el fondo de los tanques durante el viaje el tanque requerirá más LNG para enfriar y el proceso llevará más tiempo. Debido a esto, resulta favorable mantener los tanques secos y a una temperatura donde el etano y el LPG no condensen durante el viaje, normalmente a -70 o más en el fondo del tanque.

A continuación, está adjuntado el plano real de la línea del Boil-Off desde la salida de los tanques, hasta los motores, la unidad GCU y la línea de compresores de baja presión.

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

Tabla 6 Cálculo de viaje en lastre I
Fuente : Checklists usados por la compañía

Heel claculation for ballast passage						
Ship	Sevilla	Voy. #	2015/06	Date	02.11.2015	
From port	Hazira	Distance to next port	12323	Buffer/extra	1	
To port	Point Fortin	Days sailing	30	Cold until date		
ETA next port	05.12.2015	Ordered speed	NBOG	Non CH4 content	9,50 %	
Tanks with heel	1,2,3,4	Fuel operating mode	Gas only			
Comment on method: Heel in all tanks, min sounding tk 1,2,3 =10 cm. Min sounding tk 4 : 25 cm on arrival. Sailing to destinaion then slow steam.						
		Days	BOG/day	Tot	Remarks	
1	Daily consumption	30	200	6000		
2	Anchorage	0	170	0		
3	Waiting	0	170	0		
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19	Safety Margin					
20	Lines cooldown					
21	Cooldown			350		
22	Minimum heel on arrival			797	10 cm in tk 1,2,3. 25 cm in tk 4	
23	Coorection for methane content			603		
TOTAL				7750		
Heel distribution						
	CT 1 m³	CT 2 m³	CT 3 m³	CT 4 m³	Total	Remarks
Initail heel	628	1322	1599	4315	7864	
Minimum heel on arrival	75	160	160	402	797	

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

Tabla 7 Cálculo de Heel viaje en lastre II
Fuente : Checklists usados por la compañía

Heel claculation for ballast passage						
Ship	Sevilla	Voy. #	2015/06	Date	02.11.2015	
From port	Hazira	Distance to next port	10987	Buffer/extra	1	
To port	Point Fortin	Days sailing	23	Cold until date		
ETA next port	05.12.2015	Ordered speed	NBOG	Non CH4 content	9,5 %	
Tanks with heel	4	Fuel operating mode	Gas only			
Comment: Heel in tk 3, 4, sail to destination, then anchor.						
		Days	BOG/day	Tot	Remarks	
1	Daily consumption	23	195	4485		
2	Anchorage	10	50	500		
3	Waiting					
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19	Safety margin					
20	Lines cooldown					
21	Cooldown			810		
22	Minimum heel on arrival			500	Phase 2 and safety margin	
23	Coorection for methane content			551		
	TOTAL			6846		
Heel distribution						
	CT 1 m³	CT 2 m³	CT 3 m³	CT 4 m³	Total	Remarks
Initail heel	90	135	1800	4800	6825	
Minimum heel on arrival	0	0	0	500	500	

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

Tabla 8 Cálculo de carga a la llegada
Fuente : Checklists usados por la compañía

Arrival Load port					
Ship	Sevilla	Voy. #	2015/06	Date	02.11.2015
From port	Hazira	Distance to next port	12323	Buffer/extra	1
To port	Point Fortin	Days sailing	30	Cold until date	
ETA next port	05.12.2015	Ordered speed	NBOG	Non CH4 content	9,50 %
Tanks with heel	1,2,3,4	Fuel operating mode	Gas only		
Comment: Method 1 used					
Heel distribution					
	CT 1 m³	CT 2 m³	CT 3 m³	CT 4 m³	Total
Method 1 arrival heel	75	160	160	402	797
Method 2 arrival heel	0	0	0	500	500
CTS 1 load port	371	224	211	224	1030
Result					
	m³	Difference	Remarks		
CTS 1 Heel	1030				
(Shell) Phase 1 goal		#VALUE!	Above phase 1 goal		
(Shell) Phase 2 goal	500	530	Above phase 2 goal		

En un sistema de almacenamiento sin planta de relieve, el BOG generado debe de ser extraído del tanque, y de todo su sistema principal de tanques. La presión en los tanques de carga debe de mantenerse dentro de unos valores seguros de trabajo, entre 50 mbar y 170 mbar por encima de la presión atmosférica. De esta manera se evita la deformación de los tanques en

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

ocasiones donde la presión atmosférica varíe, y evitando en caso de fuga, que entre aire dentro de los tanques provocando una atmósfera explosiva.

Para cada metanero de diseño de membrana, el porcentaje de boil off durante el viaje en lastre se determina teóricamente asumiendo las siguientes condiciones:

- Temperatura del aire ambiente = + 45 °C
- Temperatura del agua de mar = + 32 °C
- Cofferdams temperatura mantenga a + 5 °C
- Llenado de los tanques al 98% de la capacidad con metano puro (densidad 425 kg/m³, calor latente de vaporización 511 kJ/kg)
- -Vaciar tuberías de carga .

Durante los primeros viajes del barco, es posible controlar la producción de BOR. En el presente documento se describirán las directrices a seguir y aplicar en caso de un buque de membrana, garantizando los propósitos finales y la seguridad.

El actual Boil Off generado abordo será medido y se determinará su media sobre el cálculo de al menos 10 viajes, excluyendo el primero de entrada en servicio, y satisfaciendo las condiciones que por el presente documento se exponen abajo:

Viajes en los que el tiempo acumulado donde el barco se encuentra con un estado del agua que exceda Beaufort 5 es mayor que las 48 horas serán excluidos de tal medida, cuando este tiempo acumulado sea en 1 o más periodos. Para periodos más cortos (viajes de menos de 48 horas), este se reducirá al 20% del total de la duración del viaje.

Quedará registrado el estado de la mar en el diario de máquinas de acuerdo a la práctica normal. Para cada medida del viaje, la presión del tanque de carga P será mantenida constante durante el viaje en carga a la presión P₀, en

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

tanques que correspondan con la temperatura de carga, con un margen de tolerancia permisible de 20mbar (i.e. $P = P_0 \pm 20\text{mbar}$).

Para sistemas de propulsión convencional (planta de vapor quemando boil off natural), o forcing vaporizer alimentando la planta de propulsión que no se utilizará durante el viaje de medición.

Para sistemas de propulsión específica o (motores duales , motores diésel de bajo régimen con planta de relievación...), se podría hacer una aproximación tanque por tanque. Tanto las operaciones de vaporización o retorno de condensados serán restringidas a uno o dos tanques, esos tanques se excluirán de la secuencia de medición. El número de viajes se hará extensible para permitir 10 mediciones en cada tanque .

2.3.3 EL MÉTODO KLOSEK & MCKINLEY

1- cálculo heel antes de viaje en lastre

(órdenes fletador)

2 -cálculo del boil off generado

(por fórmulas a bordo)

A partir de ahora, supondremos dos formas de evaluar la densidad de la carga. La primera consiste en la medida del valor medio mediante densímetros. La segunda se basa en la el estudio-evaluación de las características de la carga (LNG, composición, temperatura...).

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

Incluso si el primero es mayor, aparecen dificultades para aplicarlo en condiciones normales a bordo de buques LNG. Entonces, la densidad de carga está normalmente basada en la composición del LNG y de su temperatura.

El método al que hacemos referencia es conocido como el método de Klosek & McKinley y es bastante sencillo de aplicar utilizando solo unos pocos parámetros y admitiendo las características de la carga en las siguientes condiciones:

$\text{CH}_4 > 60\% \text{ mol}$

$i\text{C}_4 + n\text{C}_4 < 4\% \text{ mol}$

$i\text{C}_5 + n\text{C}_5 < 2\% \text{ mol}$

$\text{N}_2 < 4\% \text{ mol}$

$T < 115 \text{ K } (-158.15^\circ\text{C})$

Fórmula

Este método está basado sobre estudios empíricos del volumen molar de la mezcla considerando condiciones de su estado termodinámico. La densidad del LNG se calcula como sigue:

$$D_{\text{LNG}} = M_{\text{mix}} / V_{\text{mix}}$$

$$M_{\text{mix}} = \sum X_i M_i$$

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

$$V_{mix} = \sum X_i V_i - [K_1 + (K_2 - K_1)(X_{N2} / 0.0425)].X_{CH4}$$

D_{LNG}	Kg/m^3	Densidad del LNG
K_1, K_2	L/mol	Factores de correccion
M_i	g/mol	
M_{mix}	g/mol	Peso molecular de la mezcla
V_i	L/mol	Volumen molar del componente i
V_{mix}	L/mol	Volumen molar de la mezcla
X_i		Fraccion molar del componente i

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

Tabla 9: Volume Correction Factor – $K_1 \times 10^{-3}$
Fuente: N.B.S. – Technical note 1030 December 1980)

Mol. Weight of mixture, g/mol	Volume reduction, L/mol						
16	-0.007	-0.008	-0.009	-0.010	-0.013	-0.015	-0.017
17	0.165	0.190	0.220	0.250	0.295	0.345	0.400
18	0.340	0.375	0.440	0.500	0.590	0.700	0.825
19	0.475	0.535	0.610	0.695	0.795	0.920	1.060
20	0.635	0.725	0.810	0.920	1.035	1.200	1.390
21	0.735	0.835	0.945	1.055	1.210	1.370	1.590

Tabla 10: Volume Correction Factor – $K_2 \times 10^{-3}$
Fuente: N.B.S. – Technical note 1030 December 1980)

Mol. Weight of mixture, g/mol	Volume reduction, L/mol						
16	-0.010	-0.015	-0.024	-0.032	-0.043	-0.058	-0.075
17	0.240	0.320	0.410	0.600	0.710	0.950	1.300
18	0.420	0.590	0.720	0.910	1.130	1.460	2.000
19	0.610	0.770	0.950	1.230	1.480	1.920	2.400
20	0.750	0.920	1.150	1.430	1.730	2.200	2.600
21	0.910	1.070	1.220	1.630	1.980	2.420	3.000

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

Tabla 11. Characteristics of LNG Components.
Fuente N.B.S. – Technical note 1030 December 1980)

	Weight kg/mole	Cp kJ/kg.°C	Lv kJ/kg
CH ₄	16.0430	3.50	511
C ₂ H ₆	30.0700	2.30	586
C ₃ H ₈	44.0970	1.96	539
i-C ₄ H ₁₀	58.1230	1.73	477
n-C ₄ H ₁₀	58.1230	1.46	507
i-C ₅ H ₁₂	72.1500	1.73	456
n-C ₅ H ₁₂	72.1500	1.18	486
N ₂	28.0135	2.50	124

Se necesitarán dos interpolaciones lineales para cada uno de los parámetros dados a bajo, uno para la temperatura y el otro para el peso molecular de la mezcla.

Composición de la carga Vaporizada:

Este método esta basado en valores K empíricos para cada componente, siendo K_i definido empíricamente y determinado como el ratio entre la fracción molar en estado gaseoso y la fracción molar en estado líquido.

En el cálculo por gas desplazado, solo se toman los valores para K_i metano, nitrógeno y etano teniendo en cuanto los valores a presión atmosférica al punto de ebullición más bajo:

$$K_{N_2} = 23$$

$$K_{CH_4} = 1.0$$

$$K_{C_2H_6} = 0.005$$

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

Ki valores de otros componentes se asumen igual a cero.

Entonces aplicamos un factor de corrección lineal C_L para ajustar la fracción molar total:

$KN_2 = 23$; $KCH_4 = 1.0$; $KC_2H_6 = 0.005$.

$Y_i = C_L K_i X_i$

$$C_L = \frac{1}{\sum K_j X_j}$$

Donde :

$DLNG \text{ kg/m}^3$ Densidad de LNG

$K_1, K_2 \text{ L/mol}$ Factor de corrección

$M_i \text{ g/mol}$ Peso molecular del componente puro i

$M_{mix} \text{ g/mol}$ Peso molecular de la mezcla

$V_i \text{ L/mol}$ Peso molecular del componente puro i

$V_{mix} \text{ L/mol}$ Volumen molar de la mezcla

X_i Fracción molar del componente i

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

Entonces la media del calor latente de vaporización durante todo el viaje completo en carga es::

$$L = \frac{L_1 + L_2}{2}$$

Calor específico

El calor específico se aplica cuando, por ejemplo, se evalúa parte de la entalpía del BOR al incrementar la temperatura de la carga durante los viajes.

Su valor corresponde a la media de calor específico calculado en condiciones de carga (Cp1) y descarga (Cp2)

Esos valores se calculan a partir de la composición del LNG, basada en la siguiente ecuación:

$$C_{p1,2} = \sum G_i C_{pi}$$

Donde :

G_i Fracción de peso de component puro i

C_{pi} kJ.kg-1.°C-1 Calor específico del componente puro

M_i g / mol Peso molecular del componente puro

X_i Fracción molar del component puro

Entonces la media del calor latente de vaporización durante todo el viaje completo en carga es::

$$C = C_{p1} + C_{p2} / 2$$

Más abajo se muestra este BOR en servicio para buques con planta de relicuefacción. Consiste en llevar uno o dos tanques con carga parcialmente proveniente del retorno del condesado para todos los tanques de carga. Además de esto, el balance energético del remanete en los tanques de carga no afectada por la relicuefacción de la planta se puede estimar el BOR para dichos tanques, excepto para la capacidad de retorno de condensado. Es posible evaluar el BOR de cada tanque de forma individual. Aparte del retorno de condensado a los tanques se haría seleccionando para evitar una discrepancia en las lecturas.

Procedimiento:

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

Cantidad esperada de condensado VR

La tasa teórica de calor transferido (P) a parte del retorno de condensado se calcula primero, teniendo en cuenta el margen de seguridad diseñado. Por ello, a cantidad de condensado esperada puede ser evaluada para todos los tanques testeados, teniendo en cuenta la duración del viaje y la composición inicial.

Un margen adicional (MCB) debería tenerse en cuenta cuando evaluemos la cantidad esperada de condensado. Ello corresponderá a la capacidad efectiva de enfriamiento de la caja de perlita de aislante basada en la composición del LNG. Además de esto, en caso de exceso de Boil Off por malas condiciones de mar, el tanque disponible para el retorno del condensado será capaz de aceptar todo el retorno procedente de la relicuefacción.

A raíz de la composición de carga inicial, la densidad de la carga (ρ), y el calor latente de vaporización del gas vaporizado (L), podría hacerse una estimación. Además de la cantidad de condensado (VR) que se espera durante los viajes en carga.

Carga

Todas las medidas en los tanques de carga son cargados bajo estándares de llenado (VLi Volumen cargado en el tanque i).

El volumen de condensado es esprayado sobre el número de tanques de retorno de los cuales cuyo volume cargado VBi pasa a ser:

$$VBi = VLi - VRi [m^3]$$

$$VR = \sum VRi [m^3]$$

Viaje en carga:

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

Durante el viaje en carga, todo el condensado es enviado de vuelta a los tanques de retorno de condensado, los cuales se equiparan con aparatos de seguridad con el fin de controlar el nivel de llenado. En caso de emergencia el condensado se sprayaría a los otros tanques, o se enviaría el BOG a la GCU. Esta situación podría surgir en condiciones climatológicas adversas, y como resultado en el siguiente viaje se debería rechazar la validación del BOR.

Descarga:

Comparada con la descarga convencional, los datos descritos son medidos de modo individual cuidadosamente para cada tanque.

Evaluación BOR

Se debería alcanzar un número suficiente de viajes para permitir testar cada tanque 10 veces.

Para cada tanque de carga, el BOR es promediado sobre la medida de secuencia como sigue:

$$\text{BOR}(\text{TKi}) = \sum \text{BORj}(\text{TKj})/n$$

Entonces el BOR en servicio para todo el barco puede ser promediado con la medida del peso de cada tanque individual por la correspondiente media de la capacidad de carga VLi sobre la secuencia de medidas.

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

Ejemplo: 140,000 m3 LNG Carrier

Aquí se muestra un ejemplo del proceder con BOR para la planta de relicuefacción aplicada a un LNG de 140,000m³.

Asumiremos que la carga corresponde a un volumen teórico de puro metano (98% de total de carga en las tanques). Estos datos se dan como referencia y no se corresponden con el proyecto específico.

En este ejemplo, se asume el retorno del condensado al Tanque N°3, el calor teórico de transferencia es:

$$P = (P1 + P2 + P4) * (1 + DSM)$$

$$P = 373,806 \text{ W}$$

En este ejemplo, la carga se asume como metano puro: el calor latente de vaporización de la carga vaporizada es 511 kJ/kg, para una densidad ρ 425kg/m³.

Entonces la cantidad de condensado esperado para un periodo de 15 dias en viaje de carga será:

Asumiendo que la capacidad de la caja fria ha sido medida para un margen del 20%, este volumen sera:

$$VR = (1.20 * 373.806 / 511 * 1000) * 3600 * 15 * 24 * (1 / 425)$$

$$VR = 2,676.8 \text{ m}^3$$

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

Y el volumen tras ser cargado el retorno de condensado al tanque es:

$V_B = V_{Li} - V_R$, , con V_{Li} igual a 98.0% de la capacidad del tanque.

$$V_B = 37,228.16 \text{ m}^3$$

Desde este volumen corresponde a un nivel de carga seguro (86%H), el procedimiento es aceptable.

Esta secuencia se repetirá hasta 10 veces en cada tanque de carga .

BOR Procedimiento de medida en caso de Sistema de propulsión basado en LNG

Aparte de los motores diesel a baja velocidad, todas las plantas de propulsión van equipadas con motores que funcionan en modo gas. Es el caso de la planta de vapor convencional, pero también los dual fuel de las turbinas de gas. Podría ser necesario un complemento al BOG generado según el proyecto inicial. Podría también usarse HFO o MDO, (dependiendo del tipo de propulsión), o usar el forcing vaporization si se prefiere uso solo de gas. En tal caso, es necesario disociar el consumo adicional de LNG del balance térmico del BOR.

Sino tenemos en cuenta el uso del vaporizador forzado, se requiere en ocasiones también para el enfriamiento del BOG antes de enviarlo a los motores.

En ese momento alguna cantidad de LNG será esprayada, gracias a las bombas a tal fin en los tanques de carga. En tal caso, no solo la cantidad esprayada de LNG, sino también la energía transferida cuando operamos la bomba, deberán ser separadas del balance energético del BOR.

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

El procedimiento descrito aquí abajo nos ayuda a evaluar el BOR en servicio para barcos con propulsión basada en el consumo de LNG.

Consiste en concentrar todas las operaciones extras asociadas a la propulsión (forcing vaporizador, energía consumida por la bomba de fuel, o el sprayado de LNG) a uno o dos tanques, esos últimos siendo excluidos del balance energético.

Procedimiento:

Cargando

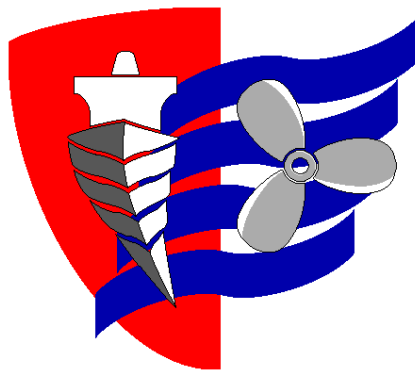
- No hay requerimientos adicionales para comparar la primera parte .
- Todos los tanques de carga serán cargados bajo los estándares de llenado.

Descargando

- Comparando con la descarga convencional, es requisito para medir la composición de la carga individualmente.
- Se debe alcanzar una cantidad suficiente de viajes para permitir que cada tanque se cheque 10 veces .

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



APLICACIÓN PRÁCTICA

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

3 APLICACIÓN PRÁCTICA

A continuación, a modo de aplicación práctica y ejemplo clarificador y explicativo de lo que se pretende, se expone con la contrastación en datos y fechas reales, las fórmulas prácticas que participan y entran en juego a la hora de determinar las variables sobre las que versa este Trabajo Fin de Máster.

Para determinar la tasa de Boil-Off real del Sevilla Knutsen, con número IMO 9414632, un sistema de contención de la carga de tanques tipo A y sistema membrana "Gaz Transport", con una capacidad de carga total de 173,000 m³ de LNG, repartidos en 4 tanques, el nº 1 de una capacidad sobre 25,000 m³, y el resto de 50,000 m³, se ha realizado la aplicación de la fórmula de cálculo utilizada en la pagina 104 de este trabajo.

3.1 INFORME GENERAL DE CARGA

El viaje en cuestión, SEVILL.2016.03 L, tiene fecha de carga el día 24 de Mayo de 2016 en el puerto de Gladstone, Australia, latitud 25°85" S y longitud 156°25" E, y fecha de descarga el día 4 de Junio de 2016 en la terminal de descarga de Fujian, Republica de China, latitud 25°20" N y longitud 118°99" E, haciendo un total de 11 días de viaje.



Figura 13 Viaje Gladstone-Fujian.

Fuente Imagen obtenida del Sistema de Cartografía a bordo.

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

En este ejemplo en particular doy de antemano una de las variables principales que no es otra que el Heel existente a bordo.

En los tanques de carga antes de la carga, quedaba una cantidad remanente de 127.380,00 ft³ de gas licuado, dejando como combustible en el viaje en lastre.

El “Load Report”, donde se pueden ver todas las características de la carga, ha sido adjuntado en el trabajo. Haciendo un resumen de éste, se ha cargado una cantidad total de 161,013 m³ de LNG, 23,500 m³ en el tanque nº1, 50,220 m³ en el tanque nº2, 50,225 m³ en el tanque nº3, y 48,500 m³ en el tanque nº4, a una temperatura de -160,5 °C, con una densidad a dicha temperatura de 412.60 kg/m³.

Si sumas 23,500 + 50,220+50,225+48,500 no te da 161.013.Da 172.445 ,si pero hay que tener en cuenta el Heel precisamente antes de la carga (que es la cantidad en pies que se ofrece)

El análisis de LNG, ha dado un total de gas Metano presente del 99.85% del total de la carga, un 0.0132% de gas Etano, y un 0.129% de Nitrógeno. Estos porcentajes hacen que sea un gas natural de muy alta calidad, siendo el porcentaje de Metano muy alto.

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

Calculos Boil-Off Rate

1. Calor ganado absorbido por la vaporización del LNG :

$$(V_1 \cdot d_1 - V_2 \cdot d_2) \cdot L = 513.617.129,04 \quad (\text{kJ})$$

2. Calor ganado absorbido a través de las membranas:

$$c_p \cdot V_2 \cdot d_2 \cdot (T_2 - T_1) = 95138158,08 \quad (\text{kJ})$$

$$\text{Total Calor ganado (1+2)} = 608.755.287,12 \quad (\text{kJ})$$

Formula general Calculo Boil-O

$\text{B.O.R. Nominal: } \frac{(V_1 d_1 - V_2 d_2) \cdot L + c_p V_2 d_2 (T_2 - T_1)}{d_m L_m V_1 t} = 0,001559 \quad 0,15590$
--

Factor corrección Temperatura:

$$Ct : (1 - \alpha_{air} \cdot (45 - T_{air})) \cdot (1 - \alpha_{sw} \cdot (32 - T_{sw})) \cdot (1 - \alpha_{cof} \cdot (5 - T_{cof})) = 966122105$$

Factor corrección Membranas Aislamiento:

$$Ci : \beta + \frac{1.3}{2} [(h_{sec} \cdot (\Delta T_{hull} + \Delta T_{sec})) + (h_{pri} \cdot \Delta T_{sec})] = 24238154,02$$

Boil-Off Rate Calculate

$$\text{B.O.R.} = \frac{1}{Ct} \cdot \frac{(V_1 d_1 - V_2 d_2) \cdot L + c_p V_2 d_2 (T_2 - T_1)}{d_m L_m V_1 t} - \frac{Ci}{d_m L_m V_1 t} = 0,155155$$

Los resultados obtenidos en este viaje son de una evaporación de la carga transportada diaria media, del **0,155155 %** del total transportado. Este dato es orientativo, pudiendo variar ligeramente según diversos factores, como son los factores ambientales externos y de las condiciones de mar. Con una carga de 164620,599 m3, nos sale un **Boil-Off de 255 m3/día**.

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

Todos los datos fueron tomados a las 12:00 horas cada día indicado, exceptuando la finalización de la carga, que fue a la 20:15 horas del día 24 de mayo del 2016.

Buque:	Sevilla Knutsen	Viaje N°:	Sevill.2016.03L
Puerto Carga:	Gladstone (Australia)	Fecha Carga:	24-may-16
Puerto Descarg:	Fujian (China)	Fecha Descarga:	04-jun-16
		Días de Viaje:	11

Características Buque:

α_{air}		0,002170
α_{sw}	Coefficientes específicos tipo tanque	0,002020
α_{cof}		0,001180
β	Coefficiente total de condiciones inestable	6141000 (kJ/m °C)
$h_{secondary}$	Ancho membrana aislamiento primaria	0,300 (m)
$h_{primary}$	Ancho membrana Aislamiento Secundaria	0,230 (m)

Características Carga:

L	Calor Latente Vaporización Carga	548 (kJ/kg)
C_p	Calor Especifico de la Carga	3,4 (kJ/kg °C)
L_m	Calor Latente Vaporización Metano	511 (kJ/kg)
dm	Densidad del Metano	422 (kg/m3)

<u>Factores Viaje:</u>	Temperatura Media Ambiente (T_{air}) :	32,52 (°C)
	Temperatura Media Agua Mar (T_{sv}) :	28,49 (°C)
	Temperatura Media Cofferdams (T_{cof}) :	5,10 (°C)

Puerto Carga, Gladstone:

Volumen después carga ($V1$) :	164620,60 (m3)
Temperatura Media LNG líquido ($T1$) :	-160,480 (°C)
Temperatura Media Barreras Secundarias Carga:	-47,87 (°C)
Temperatura Media casco interior carga:	20,38 (°C)
Densidad LNG carga ($d1$) :	421,6 (kg/m3)

Puerto descarga, Fujian:

Volumen antes descarga ($V2$) :	162496,00 (m3)
Temperatura Media LNG líquido ($T2$) :	-160,07 (°C)
Temperatura Media Barreras Secundarias desc.	-56,31 (°C)
Temperatura Media Casco Interior Carga:	25,70 (°C)
Densidad LNG descarga ($d2$) :	420,00 (kg/m3)

Diferencia Temp. final carga y principio desc. LNG (°C):	0,41
Diferencia Temp. final carga y principio desc. 2 Membrana (Δt_{sec})	8,44
Diferencia Temp. final carga y principio desc. casco interior (Δt_{hi})	5,32

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

Con los datos ofrecidos y las formulas ya expuestas,obtenemos la cantidad de boil-off por dia navegado.Con esta cantidad, conociendo las condiciones de viajes (número de dias de la travesia, velocidad requerida, tiempo de espera ,etc...), creamos nuestra propia hoja de cálculo para obtener la cantidad de Heel que vamos a retener en tanques antes del viaje en lastre, tal como se muestra a continuación con el cálculo estimado de días y Heel :

Tabla 12 Tiempo estimado de llegada
Fuente Fernando Rivera Diaz



ETA CALCULATION

1. INPUT VARIABLES

TODAY	28 des '16, 22:00 L.T.	28 des '16, 21:00 GMT	ZONE	1,0
RANGE TO GO	11390'			
E.T.A.	25 jan '17, 06:00 L.T.	24 jan '17, 21:00 GMT	ZONE	9,0

2. INPUT STOPPAGE/ANCHORAGE

START			
END			
TOTAL STOPPED	0,00 Hours	0,0 Days	

3. RESULTS

Sailing Time	648,00 Hours	27,0 Days
Required Speed	17,58 kt	

4. CHARTER'S SPEED

Input Speed	19,50 kt
E.T.A.	22 jan '17, 14:06 L.T. 22 jan '17, 05:06 GMT

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

Tras el cálculo de los días navegados, trasladamos el dato a la tabla siguiente para la obtención de la cantidad de Heel retenido a bordo.

Tabla 13. Cálculo de Heel.
Fuente Fernando Rivera Diaz

LNG/c Sevilla Knutsen Heel Calculation

					Extra Days:	0,0 Days			
Voy #	Departure	Arrival	Cargo Tank Cool Down	Minimum Cargo Tank Sounding	Daily Boil Off	Sailing Days	Heel	Non CH4 content	Heel
	Date/GMT	Date/GMT							
SEVILL-201503	28.des.16 21:00	24.jan.17 21:00			215 m3	27,0 Days	5805 m3	0,00 %	6190 m3
Maximum Boil Off (0.15% of 98.5% Capacity) = 257 m³					Total Time: 27,0 Days				
"ONE TANK" Ballast Boil Off: 190 m3, but heel to be calculated <u>at least</u> with C/P consumption									
Anchorage Boil Off: One third of Sailing BOG									

Days at Anchor:	0.0 Days	Total Anchor BOG:	0 m3
Fuel Gas Minimum Start:	385 m3		

Minimum Coolant Sounding	Daily Loss	Days	Total Loss	Initial Sounding	
TK #1	0,000	0,010	27,0	0,270	0.0
TK #2	0,000	0,010	27,0	0,270	0.0
TK #3	0,000	0,010	27,0	0,270	0.0
TK #4	Heel	0,010	27,0	0,270	Heel

Less than 40 cm

Sloshing Low Limit: 2.80 mts (we will use 2.77 m limit, it means 4628 m³)

Minimum Sounding to start the Stripping Pump (0.17 mts). We will keep 0.25 m, just in case.

If any Minimum Cargo Tank sounding: Tank Floor to be covered with enough liquid (0.10 mts).

NOTE: The coolant in TK #4 will be the difference of the Heel minus the sum of coolant of the other three tanks = Heel - (sum of coolant of TK #1+TK #2 and /or not TK #3, in case there isn't enough room in TK #4)

Fuel Consumption (Fuel Only): 1515 Tons

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

Tabla 14 Temperatura barrera secundaria.

Fuente: IAS (Imagen de la pantalla del sistema durante la carga)

Buque: Sevilla Knutsen N° viaje: Sevill.2016.03L
Fecha Carga: 24.may 2016
Hora Fin Carga: 20:15:30

General

Presión Atmosférica	1.014,62	mbarA
Temperatura Atmosférica	26,12	°C
Temperatura agua de Mar	23,72	°C



Temperatura Tanque #1 Barrera Secundaria

Top (1 A/B)	-20,50	°C
F.P.U (3A/B)	-40,50	°C
F.P.U (6 A/B)	-45,70	°C
F.P.L (9 A/B)	-55,50	°C
F.C.U (4 A/B)	-53,30	°C
F.C.L (8 A/B)	-46,00	°C
ASU (2 A/B)	-36,60	°C
ASU (7 A/B)	-52,40	°C
ASL (10 A/B)	-45,80	°C
ACM (5 A/B)	-57,00	°C
ASB (11 A/B)	-44,30	°C
APB (14 A/B)	-72,20	°C
ACB (12 A/B)	-54,00	°C
BoC (13 A/B)	-41,50	°C

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

Para la realización de los cálculos, justo después de la descarga se han tomado los datos de temperaturas, presiones y volúmenes en nuestro sistema de contención de la carga, agrupados con el “Cargo Report”, adjuntado a continuación del trabajo. Durante toda la carga, el motor auxiliar ha estado consumiendo HFO(Heavy Fuel Oil), siendo todo el Boil-Off mandado a la terminal.

Durante todo el viaje, se han tomado diariamente los datos de temperatura del agua del mar, la presión atmosférica y la temperatura ambiente. Estos datos han sido recogidos en el apartado “Características Viaje”, siendo necesarios para determinar sus valores medios. Además se ha recogido el volumen por día evaporado, los cuales han sido consumidos por los motores objeto de estudio.

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

Tabla 15 Temperatura barrera secundaria.

Fuente: IAS (Imagen de la pantalla del sistema durante la carga)

Temperatura Tanque #2 Barrera Secundaria

Top (1 A/B)	-19,90	°C
F.P.U (3A/B)	-41,40	°C
F.P.U (6 A/B)	-43,60	°C
F.P.L (9 A/B)	-41,50	°C
F.C.U (4 A/B)	-43,80	°C
F.C.L (8 A/B)	-49,30	°C
ASU (2 A/B)	-35,70	°C
ASU (7 A/B)	-49,00	°C
ASL (10 A/B)	-42,40	°C
ACM (5 A/B)	-49,00	°C
ASB (11 A/B)	-57,10	°C
APB (14 A/B)	-60,20	°C
ACB (12 A/B)	-60,70	°C
BoC (13 A/B)	-61,70	°C

Temperatura Tanque #3 Barrera Secundaria

Top (1 A/B)	-19,30	°C
F.P.U (3A/B)	-35,90	°C
F.P.U (6 A/B)	-40,80	°C
F.P.L (9 A/B)	-56,10	°C
F.C.U (4 A/B)	-43,30	°C
F.C.L (8 A/B)	-49,50	°C
ASU (2 A/B)	-37,70	°C
ASU (7 A/B)	-47,10	°C
ASL (10 A/B)	-43,70	°C
ACM (5 A/B)	-50,10	°C
ASB (11 A/B)	-47,30	°C
APB (14 A/B)	-64,10	°C
ACB (12 A/B)	-56,20	°C
BoC (13 A/B)	-46,70	°C

Temperatura Tanque #4 Barrera Secundaria

Top (1 A/B)	-26,90	°C
F.P.U (3A/B)	-49,50	°C
F.P.U (6 A/B)	-53,00	°C
F.P.L (9 A/B)	-61,90	°C
F.C.U (4 A/B)	-57,90	°C
F.C.L (8 A/B)	-60,10	°C
ASU (2 A/B)	-37,20	°C
ASU (7 A/B)	-51,80	°C
ASL (10 A/B)	-56,40	°C
ACM (5 A/B)	-42,90	°C
ASB (11 A/B)	-58,50	°C
APB (14 A/B)	-62,90	°C

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

Tabla 16 Temperatura casco interior.

Fuente: IAS (Imagen de la pantalla del sistema durante la carga)

Presión Tanques

Tank 1	1.119,00	varA(Absolute)
Tank 1	103,38	nbar(Gauge)
Tank 2	1.120,00	varA(Absolute)
Tank 2	102,97	nbar(Gauge)
Tank 3	1.120,00	varA(Absolute)
Tank 3	103,51	nbar(Gauge)
Tank 4	1.119,00	varA(Absolute)
Tank 4	102,64	nbar(Gauge)

Temperatura Casco Interior #1

LiqDome (16 A/B)	15,00	°C
Trunk (15 A)	22,00	°C
Stbd. Pass (17 A)	21,00	°C
P. Pass (18 A)	23,30	°C
P. Duct (29 A)	21,40	°C

Temperatura Casco Interior #2

LiqDome (16 A/B)	16,50	°C
Trunk (15 A)	22,10	°C
Stbd. Pass (17 A)	20,60	°C
P. Pass (18 A)	22,60	°C
P. Duct (29 A)	20,60	°C

Temperatura Casco Interior #3

LiqDome (16 A/B)	15,50	°C
Trunk (15 A)	21,40	°C
Stbd. Pass (17 A)	20,60	°C
P. Pass (18 A)	21,50	°C
P. Duct (29 A)	20,70	°C

Temperatura Casco Interior #4

LiqDome (16 A/B)	12,90	°C
Trunk (15 A)	20,10	°C
Stbd. Pass (17 A)	25,20	°C
P. Pass (18 A)	22,10	°C
P. Duct (29 A)	22,40	°C

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

Se ha tenido especial atención en que en ningún día el estado de la mar ha sobrepasado Beaufort 5, sino no pudiera haberse realizado el cálculo para este viaje. Además, no se ha necesitado la evaporación de Boil-Off de manera no natural, siendo la navegación en todo el viaje por evaporación natural.

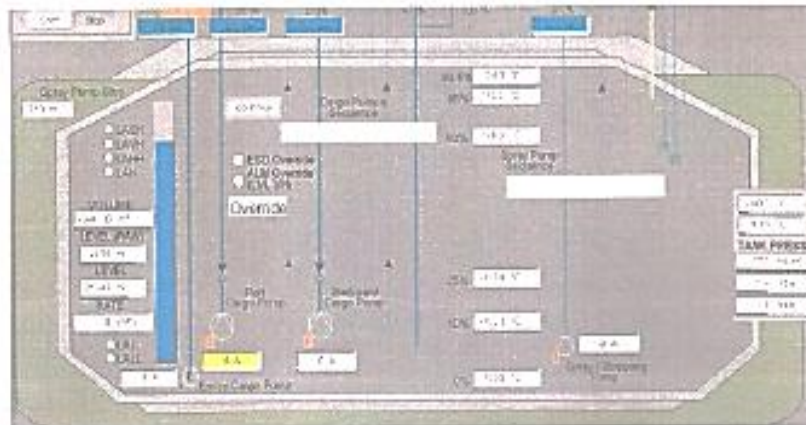
Durante todo el viaje no ha sido necesaria la utilización de la GCU, todo el viaje ha sido realizado con 2 motores 12 en V y el 9 en línea, aportando una potencia a los ejes de cola media de 23,000 kW, manteniendo de esta manera, una velocidad media de viaje de 19,5 nudos.

Una vez en Fujian, ya con el barco conectado a los manifolds, se ha realizado la toma de datos justo antes de la descarga, recogiendo, al igual que en la carga, todas las temperaturas, presiones y volúmenes del sistema de carga, recogidos estos en le “Discharge Report”.

Tabla 17 Temperatura tanques

Fuente :IAS (Imagen de la pantalla del sistema durante la carga)

Temperaturas Tanques Carga



Cargo Tank 1 Temp.

99.5 %	-103,08	°C
95 %	-147,41	°C
80 %	-160,37	°C
25 %	-160,47	°C
10 %	-160,40	°C
0 %	-160,42	°C
Average Liquid	-160,42	°C
Average Vapor	-125,26	°C
Corrected Level	25,47	m
Volume	23.495,00	m3

Cargo Tank 2 Temp.

99.5 %	-103,56	°C
95 %	-150,10	°C
80 %	-160,46	°C
25 %	-160,47	°C
10 %	-160,42	°C
0 %	-160,43	°C
Average Liquid	-160,46	°C
Average Vapor	-126,84	°C
Corrected Level	25,43	m
Volume	47.381,00	m3

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

Una vez con todos los datos tomados, se han podido realizar los cálculos para la determinación de la tasa real de Boil-Off.

Tabla 18 Volumen al final de la carga

Fuente: IAS (Imagen de la pantalla del sistema durante la carga)

Cargo Tank 3 Temp.

99.5 %	-115,09	°C
95 %	-134,40	°C
80 %	-160,49	°C
25 %	-160,58	°C
10 %	-160,53	°C
0 %	-160,52	°C
Average Liquid	-160,53	°C
Average Vapor	-124,80	°C
Corrected Level	25,42	m
Volume	47.372,00	m3

Cargo Tank 4 Temp.

99.5 %	-117,91	°C
95 %	-143,40	°C
80 %	-160,49	°C
25 %	-160,50	°C
10 %	-160,50	°C
0 %	-160,47	°C
Average Liquid	-160,51	°C
Average Vapor	-130,66	°C
Corrected Level	25,94	m
Volume	46.366,00	m3

Características Generales

Total Volumen Fin Carga		164.620,60	m3
Temperatura Media Barreras secundaria			
Tanque 1		-47,52	°C
Tanque 2		-46,81	°C
Tanque 3		-45,56	°C
Tanque 4		-51,58	°C
Total		-47,87	°C
Temperatura Media Casco Interior			
Tanque 1		20,54	°C
Tanque 2		20,48	°C
Tanque 3		19,94	°C
Tanque 4		20,54	°C
Total		20,38	°C
Temperatura Media Líquid		-160,48	°C

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

3.2 EJEMPLOS PRÁCTICOS

En esta segunda parte correspondiente al capítulo de aplicación práctica, se proponen de nuevo dos ejemplos, para que como prólogo a los cálculos que se expondrán con posterioridad, queden claros y patentes los conceptos, fórmulas y variables con las que se trabajan en los casos reales. Estos mismos ejemplos, llevan asociados sus propios enunciados y datos para su resolución.

3.2.1 EJEMPLO 1: (DFDE-MOTORES DUALES)

Barco navegando en lastre una distancia de 9000 millas náuticas. Consumo solo de gas para obtener una velocidad estimada de 18 nudos.

Casco algo sucio. 5% de sobreconsumo

Duración: 20 días y 20h

A = $106,1 \text{ Tn} / 24\text{h} \times 20,83 \text{ días} = 2210,06 \text{ Tn} / 4652,76 \text{ m}^3 \text{ LNG}$

B = No se esperan retrasos, ni fondeos a la llegada del práctico

C = No se conocen condiciones climatológicas y no se carga de más por efecto de corriente adversa = $0 \text{ m}^3 \text{ LNG}$

D = Se considera ensuciado el casco después de un periodo estático de fondeo, se espera un sobreconsumo por este motivo de alrededor 5% cantidad ya registrada en A.

$4652,76 \times 5 / 100 = 232,64 \text{ m}^3 \text{ LNG}$

E = $400 \text{ m}^3 \text{ LNG}$

F = $500 \text{ m}^3 \text{ LNG}$ definido por el armador

G = $300 \text{ m}^3 \text{ LNG}$ para compensar el residual esperado de etano y LPG

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

Heel recomendado al armador =

$$4652,76 + 0 + 0 + 232,64 + 400 + 500 + 300 = 6063,94 \text{ m}^3 \text{ LNG}$$

A la llegada en este caso seria $\approx 800 \text{ m}^3$ donde la mayoría de esta cantidad ha terminado en el fondo de los tanques como LPG y etano más caliente.

3.2.2 EJEMPLO 2:(STEAM-TURBINEROS)

Barco navegando en lastre una distancia de 4000 millas. Consumo solo de gas para obtener una velocidad estimada de 15 nudos.

Tiempo de espera previsto 1,5 días .

Casco limpio y en buenas condiciones para navegar.

Un margen de 2 días por posibles reatrasos.

$$A = 109 \text{ Tn/ 24h} \times 11.1 \text{ días} = 1210 \text{ Tn/ 2547.4 m}^3 \text{ LNG}$$

$$B = 35 \text{ m}^3 \text{ LNG/ 24h} \times 1.5 \text{ días} = 52.5 \text{ m}^3 \text{ LNG}$$

$$C = \text{Se esperan fuertes vientos y mar de fondo durante 2 días} \approx 50 \text{ m}^3$$

$$D = \text{Barco en buenas condiciones} = 0 \text{ m}^3$$

$$E = 350 \text{ m}^3 \text{ LNG}$$

$$F = 250 \text{ m}^3 \text{ LNG Nivel mínimo requerido para el arranque de las bombas de los tanques .}$$

$$G = \text{Mínima cantidad heel envejecido.} = 0 \text{ m}^3$$

$$\text{Margen} = 35 \text{ m}^3 \text{ LNG/ 24h} \times 2 \text{ días} = 70 \text{ m}^3 \text{ LNG}$$

Heel recomendado a bordo por el armador =

$$2547.4 + 52.5 + 50 + 0 + 350 + 250 + 0 + 70 = 3270 \text{ m}^3 \text{ LNG}$$

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

A la llegada en este caso sería $\approx 320 \text{ m}^3$ donde la mayoría de esta cantidad ha terminado en el fondo de los tanques como LPG y etano más caliente.

3.3 CÁLCULOS 2015-2016 (CARGA Y LASTRE)

A continuación se plasman los Excel originales correspondientes a los viajes de los años 2015-2016 tanto en carga como en lastre. Estas hojas de cálculo se crearon expresamente y de forma original a bordo por el que suscribe este trabajo, con el objeto único de llevar un control diario de las cantidades tanto de consumo de gas, como de licuado a bordo. Además de las ya mencionadas se crea una tabla que relaciona el consumo con la velocidad, parámetro este último que hay que tener muy en cuenta a la hora de programar la cantidad que queremos dejar a bordo.

Se reproduce parte de la tabla de asociación de cálculo de consumo-velocidad, solo a modo ilustrativo, sin reproducir todo el anaquel completo por innecesario. Podemos observar en este primer viaje, que se comienza con un R.O.B de 7366 m^3 para terminar a la llegada a puerto con una cantidad de 1675 m^3 , necesaria para enfriamiento de tanques y líneas y suficiente para un arranque de seguridad de las bombas sumergidas.

Los datos se recogen todos los días a la misma hora (12:00).

Los contadores (Acc) también se registran a intervalos de un día. Con ellos obtenemos el consumo en kg/día de los motores, el forcing o la unidad de combustión de gas. La sucesión de cálculos mostrada comienza cronológicamente con el primer viaje en lastre del Buque Sevilla Knutsen para el año 2015. Se toman como factor de conversión (δ) del gas a fuel el mostrado en tablas. Los datos reflejados provienen íntegramente de las lecturas sacadas del sistema de lectura y transferencia de sondas a bordo conocido como CTS. Se toman al inicio de viaje SOSP y al final EOSP además de cada mediodía.

Tabla 19. Volumen al final de la carga.

Fuente Fernando Rivera Diaz

Charter Party Consumption

Tons -> m³ = 0,475 Conversion Factor

LADEN	
Speed	Consumption (ton/day)
11,00	46,60
11,01	46,63
11,02	46,66
11,03	46,68
11,04	46,71
11,05	46,74
11,06	46,77
11,07	46,80
11,08	46,82
11,09	46,85
11,10	46,88
11,11	46,91
11,12	46,94
11,13	46,96
11,14	46,99
11,15	47,02
11,16	47,05
11,17	47,08
11,18	47,10
11,19	47,13
11,20	47,16
11,21	47,19
11,22	47,22
11,23	47,24
11,24	47,27
11,25	47,30
11,26	47,33
11,27	47,36
11,28	47,38
11,29	47,41
11,30	47,44
11,31	47,47
11,32	47,50
11,33	47,52

BALLAST	
Speed	Consumption (ton/day)
11,00	45,30
11,01	45,37
11,02	45,44
11,03	45,52
11,04	45,59
11,05	45,66
11,06	45,73
11,07	45,80
11,08	45,88
11,09	45,95
11,10	46,02
11,11	46,09
11,12	46,16
11,13	46,24
11,14	46,31
11,15	46,38
11,16	46,45
11,17	46,52
11,18	46,60
11,19	46,67
11,20	46,74
11,21	46,81
11,22	46,88
11,23	46,96
11,24	47,03
11,25	47,10
11,26	47,17
11,27	47,24
11,28	47,32
11,29	47,39
11,30	47,46
11,31	47,53
11,32	47,60
11,33	47,68

Tons	m ³	Speed Required	BALLAST
56,10	118,1	12,50	

Tons	m ³	Speed Required	LADEN
97,76	205,8	17,58	

SEVILL-201501

Ballast

$\delta =$ 0,451304 0,475

	Date	Time	DFE Acc	GCU Acc	FV Acc	DFE m3	GCU m3	FV m3	DFE FOE	GCU FOE	FV FOE	BOG m3	BOG FOE	ROB m3	CTs mbar	Hours	BOG m3/day
CTS	31/1/15	06:18	0,00	0,00	0,00									7366			
SOSP	31/1/15	11:30	3,49	27,17	0,00	7,73	60,20	0,00	3,67	28,60	0,00	67,93	32,27	7298	132		
Noon	1/2/15	12:00	73,95	27,17	0,00	156,14	0,00	0,00	74,17	0,00	0,00	156,14	74,17	7142	131	23	166,55
Noon	2/2/15	12:00	147,35	27,17	0,00	162,64	0,00	0,00	77,25	0,00	0,00	162,64	77,25	6979	130	24	162,64
Noon	3/2/15	12:00	241,03	27,17	0,00	207,56	0,00	0,00	98,59	0,00	0,00	207,56	98,59	6772	151	24	207,56
I.O.S.P.	3/2/15	14:30	249,85	28,66	0,00	19,55	3,31	0,00	9,29	1,57	0,00	22,86	10,86	6749	149	3	219,44
ROSP	3/2/15	17:00	252,60	34,30	0,00	6,10	12,49	0,00	2,90	5,93	0,00	18,59	8,83	6730	153		
Noon	4/2/15	12:00	332,30	34,30	0,00	176,60	0,00	0,00	83,88	0,00	0,00	176,60	83,88	6554	110		
Noon	5/2/15	12:00	434,10	34,30	0,00	225,57	0,00	0,00	107,15	0,00	0,00	225,57	107,15	6328	106	24	225,57
Noon	6/2/15	12:00	522,40	34,30	0,00	195,66	0,00	0,00	92,94	0,00	0,00	195,66	92,94	6132	125	25	187,83
Noon	7/2/15	12:00	614,60	34,30	0,00	204,30	0,00	0,00	97,04	0,00	0,00	204,30	97,04	5928	116	24	204,30
Noon	8/2/15	12:00	691,90	34,30	0,00	171,28	0,00	0,00	81,36	0,00	0,00	171,28	81,36	5757	136	24	171,28
Noon	9/2/15	12:00	783,30	34,30	0,00	202,52	0,00	0,00	96,20	0,00	0,00	202,52	96,20	5554	128	24	202,52
Noon	10/2/15	12:00	889,00	34,30	0,00	234,21	0,00	0,00	111,25	0,00	0,00	234,21	111,25	5320	116	25	224,84
Noon	11/2/15	12:00	990,40	34,30	0,00	224,68	0,00	0,00	106,72	0,00	0,00	224,68	106,72	5095	125	24	224,68
Noon	12/2/15	12:00	1088,60	34,30	0,00	217,59	0,00	0,00	103,36	0,00	0,00	217,59	103,36	4878	140	24	217,59

TRABAJO FIN DE MÁSTER																	
INGENIERÍA MARINA																	

Noon	13/2/15	12:00	1182,00	34,20	0,00	206,96	-0,22	0,00	98,30	-0,11	0,00	206,73	98,20	4671	108	24	206,73
Noon	14/2/15	12:00	1268,20	34,20	0,00	191,00	0,00	0,00	90,73	0,00	0,00	191,00	90,73	4480	120	25	183,36
Noon	15/2/15	12:00	1351,00	34,20	0,00	183,47	0,00	0,00	87,15	0,00	0,00	183,47	87,15	4297	121	24	183,47
Noon	16/2/15	12:00	1423,70	34,20	0,00	161,09	0,00	0,00	76,52	0,00	0,00	161,09	76,52	4135	130	24	161,09
Noon	17/2/15	12:00	1506,00	55,80	0,00	182,36	47,86	0,00	86,62	22,73	0,00	230,22	109,36	3905	142	24	230,22
Noon	18/2/15	12:00	1602,20	64,70	0,00	213,16	19,72	0,00	101,25	9,37	0,00	232,88	110,62	3672	103	25	223,57
Noon	19/2/15	12:00	1674,00	64,70	0,00	159,09	0,00	0,00	75,57	0,00	0,00	159,09	75,57	3513	126	24	159,09
Noon	20/2/15	12:00	1746,80	64,70	0,00	161,31	0,00	0,00	76,62	0,00	0,00	161,31	76,62	3352	125	24	161,31
Noon	21/2/15	12:00	1817,20	67,20	0,00	155,99	5,54	0,00	74,10	2,63	0,00	161,53	76,73	3190	115	25	155,07
Noon	22/2/15	12:00	1868,00	83,70	0,00	112,56	36,56	0,00	53,47	17,37	0,00	149,12	70,83	3041	117	24	149,12
Noon	23/2/15	12:00	1910,00	108,30	0,00	93,06	54,51	0,00	44,21	25,89	0,00	147,57	70,10	2894	128	24	147,57
Noon	24/2/15	12:00	1938,70	149,70	0,00	63,59	91,73	0,00	30,21	43,57	0,00	155,33	73,78	2738	128	24	155,33
Noon	25/2/15	12:00	1956,80	204,30	0,00	40,11	120,98	0,00	19,05	57,47	0,00	161,09	76,52	2577	116	24	161,09
Noon	26/2/15	12:00	1971,80	255,50	0,00	33,24	113,45	0,00	15,79	53,89	0,00	146,69	69,68	2431	133	24	146,69
Noon	27/2/15	12:00	1984,00	311,90	0,00	27,03	124,97	0,00	12,84	59,36	0,00	152,00	72,20	2279	131	24	152,00
Noon	28/2/15	12:00	1996,30	366,90	0,00	27,25	121,87	0,00	12,95	57,89	0,00	149,12	70,83	2129	131	24	149,12
Noon	1/3/15	12:00	2008,50	422,30	0,00	27,03	122,76	0,00	12,84	58,31	0,00	149,79	71,15	1980	130	24	149,79
EOSP	1/3/15	11:00	2023,00	474,00	0,00	32,13	114,56	0,00	15,26	54,41	0,00	146,69	69,68	1833	126		
Noon	2/3/15	12:00	2023,80	474,60	0,00	33,90	115,89	0,00	16,10	55,05	0,00	149,79	71,15	1830	133	24	
Noon	3/3/15	12:00	2035,20	533,00	0,00	25,26	129,40	0,00	12,00	61,47	0,00	154,66	73,46	1675	136	24	

SEVILL-201501

Laden

$$\delta = 0,450687 \quad 0,475$$

	Date	Time	DFE Acc	GCU Acc	FV Acc	DFE m³	GCU m³	FV m³	DFE FOE	GCU FOE	FV FOE	BOG m³	BOG FOE	ROB m³	CTs mbar	Hours	BOG m³/day
CTS	4/3/15	21:25	0,00	0,00	0,00									137048			
SOSP	4/3/15	23:36	0,00	0,00	0,00			0,00			0,00	0,00	0,00	137034	140		
Noon	5/3/15	12:00	67,10	0,00	0,00	148,88		0,00	70,72		0,00	148,88	70,72	136885	133		
Noon	6/3/15	12:00	201,70	0,00	0,00	298,66		0,00	141,86		0,00	298,66	141,86	136586	128	24	298,66
Noon	7/3/15	12:00	330,80	0,00	0,00	286,45		0,00	136,06		0,00	286,45	136,06	136300	126	23	298,91
Noon	8/3/15	12:00	464,00	0,00	0,00	295,55		0,00	140,39		0,00	295,55	140,39	136004	124	24	295,55
Noon	9/3/15	12:00	591,70	0,00	0,00	283,35		0,00	134,59		0,00	283,35	134,59	135721	124	24	283,35
Noon	10/3/15	12:00	727,60	0,00	0,00	301,54		0,00	143,23		0,00	301,54	143,23	135420	126	23	314,65
Noon	11/3/15	12:00	859,40	0,00	0,00	292,44		0,00	138,91		0,00	292,44	138,91	135127	116	24	292,44
Noon	12/3/15	12:00	979,90	0,00	0,00	267,37		0,00	127,00		0,00	267,37	127,00	134860	109	24	267,37
Noon	13/3/15	12:00	1110,60	0,00	0,00	290,00		0,00	137,75		0,00	290,00	137,75	134570	114	24	290,00
Noon	14/3/15	12:00	1240,50	0,00	0,00	288,23		0,00	136,91		0,00	288,23	136,91	134282	116	24	288,23
Noon	15/3/15	12:00	1360,20	0,00	0,00	265,59		0,00	126,16		0,00	265,59	126,16	134016	116	24	265,59
Noon	16/3/15	12:00	1480,80	0,00	0,00	267,59		0,00	127,11		0,00	267,59	127,11	133748	114	24	267,59
Noon	17/3/15	12:00	1605,90	0,00	0,00	277,58		0,00	131,85		0,00	277,58	131,85	133471	114	23	289,64
Noon	18/3/15	12:00	1741,80	0,00	0,00	301,54		0,00	143,23		0,00	301,54	143,23	133169	114	24	301,54
Noon	19/3/15	12:00	1880,20	0,00	0,00	307,09		0,00	145,87		0,00	307,09	145,87	132862	116	24	307,09
Noon	20/3/15	12:00	2009,10	0,00	0,00	286,01		0,00	135,85		0,00	286,01	135,85	132576	116	24	286,01

TRABAJO FIN DE MÁSTER																	
INGENIERÍA MARINA																	

Noon	21/3/15	12:00	2135,30	0,00	0,00	280,02		0,00	133,01		0,00	280,02	133,01	132296	115	23	292,19
Noon	22/3/15	12:00	2263,40	0,00	0,00	284,23		0,00	135,01		0,00	284,23	135,01	132012	114	24	284,23
Noon	23/3/15	12:00	2395,00	0,00	0,00	292,00		0,00	138,70		0,00	292,00	138,70	131720	116	24	292,00
Noon	24/3/15	12:00	2517,80	0,00	0,00	272,47		0,00	129,42		0,00	272,47	129,42	131447	114	23	284,32
Noon	25/3/15	12:00	2632,90	0,00	0,00	255,39		0,00	121,31		0,00	255,39	121,31	131192	116	24	255,39
Noon	26/3/15	12:00	2734,80	0,00	0,00	226,10		0,00	107,40		0,00	226,10	107,40	130966	116	23	235,93
EOSP	27/3/15	19:18	2755,00	0,00	0,00	44,82		0,00	21,29		0,00	44,82	21,29	130921	116		

SEVILL-201502

Laden

$$\delta = 0,44897 \quad 0,475$$

	Date	Time	DFE	GCU	FV	DFE	GCU	FV	DFE	GCU	FV	BOG		ROB	CTs	Hours	BOG
			Acc	Acc	Acc	m³	m³	m³	FOE	FOE	FOE	m³	FOE	m³	mbar		m³/day
CTS	7/5/15	04:35	0,00	0,00	0,00									170948			
SOSP	7/5/15	11:00	1,54	16,97	0,00	3,43	37,80	0,00	1,63	17,95	0,00	41,23	19,58	170906	146		
Noon	7/5/15	12:00	3,50	16,99	0,00	4,36	0,04	0,00	2,07	0,02	0,00	4,41	2,09	170902	170	1	105,74
Noon	8/5/15	12:00	107,93	25,99	0,00	232,59	20,05	0,00	110,48	9,52	0,00	252,65	120,01	170649	123	24	252,65
Noon	9/5/15	12:00	134,04	109,22	0,00	58,17	185,38	0,00	27,63	88,06	0,00	243,55	115,69	170406	134	24	243,55
Noon	10/5/15	12:00	160,97	214,83	0,00	59,96	235,22	0,00	28,48	111,73	0,00	295,18	140,21	170111	127	24	295,18
Noon	11/5/15	12:00	189,82	322,46	0,00	64,27	239,73	0,00	30,53	113,87	0,00	304,00	144,40	169807	128	24	304,00
Noon	12/5/15	12:00	218,88	429,58	0,00	64,72	238,57	0,00	30,74	113,32	0,00	303,30	144,07	169503	127	24	303,30
Noon	13/5/15	12:00	251,89	531,59	0,00	73,52	227,21	0,00	34,92	107,93	0,00	300,74	142,85	169203	122	24	300,74

TRABAJO FIN DE MÁSTER																	
INGENIERÍA MARINA																	

Noon	14/5/15	12:00	281,42	618,31	0,00	65,78	193,14	0,00	31,24	91,74	0,00	258,92	122,99	168944	117	23	270,18
Noon	15/5/15	12:00	312,36	709,76	0,00	68,90	203,69	0,00	32,73	96,75	0,00	272,59	129,48	168671	124	24	272,59
Noon	16/5/15	12:00	342,95	785,88	0,00	68,14	169,56	0,00	32,37	80,54	0,00	237,70	112,91	168433	122	24	237,70
Noon	17/5/15	12:00	378,57	885,28	0,00	79,34	221,39	0,00	37,69	105,16	0,00	300,73	142,85	168133	120	24	300,73
Noon	18/5/15	12:00	409,35	988,74	0,00	68,55	230,43	0,00	32,56	109,46	0,00	298,98	142,02	167834	119	24	298,98
Noon	19/5/15	12:00	438,56	1080,47	0,00	65,06	204,30	0,00	30,91	97,04	0,00	269,37	127,95	167564	117	24	269,37
Noon	20/5/15	12:00	470,81	1138,99	0,00	71,84	130,35	0,00	34,12	61,91	0,00	202,18	96,04	167362	121	24	202,18
Noon	21/5/15	12:00	504,35	1221,83	0,00	74,71	184,52	0,00	35,49	87,65	0,00	259,23	123,13	167103	119	24	259,23
Noon	22/5/15	12:00	536,38	1289,06	0,00	71,34	149,74	0,00	33,89	71,13	0,00	221,08	105,01	166882	123	24	221,08
Noon	23/5/15	12:00	540,92	1368,75	0,00	10,10	177,50	0,00	4,80	84,31	0,00	187,60	89,11	166694	135	24	187,60
Noon	24/5/15	12:00	552,48	1463,39	0,00	25,75	210,80	0,00	12,23	100,13	0,00	236,56	112,37	166458	131	24	236,56
Noon	25/5/15	12:00	579,20	1570,58	0,00	59,51	238,74	0,00	28,27	113,40	0,00	298,25	141,67	166159	123	24	298,25
Noon	26/5/15	12:00	603,57	1667,93	0,00	54,28	216,84	0,00	25,78	103,00	0,00	271,12	128,78	165888	119	24	271,12
Noon	27/5/15	12:00	622,83	1759,30	0,00	42,90	203,51	0,00	20,38	96,67	0,00	246,41	117,04	165642	123	24	246,41
I.O.S.P.	28/5/15	07:30	643,02	1846,24	0,00	44,97	193,63	0,00	21,36	91,97	0,00	238,60	113,34	165403	121	24	238,60
R.O.S.P.	28/5/15	10:12	643,25	1857,51	0,00	0,50	25,10	0,00	0,24	11,92	0,00	25,60	12,16	165378	112	3	219,45
Noon	28/5/15	12:00	645,20	1861,81	0,00	4,35	9,58	0,00	2,07	4,55	0,00	13,93	6,62	165364	130	2	185,76
Noon	29/5/15	12:00	674,63	1965,85	0,00	65,55	231,74	0,00	31,14	110,08	0,00	297,29	141,21	165066	134	24	297,29
Noon	30/5/15	12:00	709,32	2066,63	0,00	77,26	224,46	0,00	36,70	106,62	0,00	301,72	143,32	164765	136	24	301,72
Noon	31/5/15	12:00	754,05	2150,53	0,00	99,62	186,87	0,00	47,32	88,76	0,00	286,48	136,08	164478	136	23	298,94
Noon	1/6/15	12:00	801,16	2242,08	0,00	104,94	203,92	0,00	49,85	96,86	0,00	308,86	146,71	164169	135	24	308,86
Noon	2/6/15	12:00	847,43	2337,32	0,00	103,06	212,13	0,00	48,95	100,76	0,00	315,19	149,71	163854	135	24	315,19
Noon	3/6/15	12:00	891,56	2428,83	0,00	98,29	203,84	0,00	46,69	96,82	0,00	302,12	143,51	163552	133	23	315,26
Noon	4/6/15	12:00	937,29	2524,04	0,00	101,86	212,05	0,00	48,38	100,72	0,00	313,91	149,11	163238	128	24	313,91
Noon	5/6/15	12:00	993,14	2607,95	0,00	124,39	186,89	0,00	59,09	88,77	0,00	311,29	147,86	162927	118	24	311,29
Noon	6/6/15	12:00	1047,59	2680,66	0,00	121,28	161,96	0,00	57,61	76,93	0,00	283,24	134,54	162644	117	23	295,56
Noon	7/6/15	12:00	1104,24	2759,23	0,00	126,16	174,99	0,00	59,93	83,12	0,00	301,15	143,04	162342	114	24	301,15

TRABAJO FIN DE MASTER																	
INGENIERÍA MARINA																	

Noon	8/6/15	12:00	1160,88	2796,21	0,00	126,16	82,36	0,00	59,93	39,12	0,00	208,53	99,05	162134	124	24	208,53
Noon	9/6/15	12:00	1246,99	2798,83	0,00	191,80	5,84	0,00	91,10	2,78	0,00	197,64	93,88	161936	115	23	206,23
I.O.S.P.	10/6/15	07:00	1312,75	2801,83	0,00	146,48	6,67	0,00	69,58	3,17	0,00	153,15	72,75	161783	124	19	193,45
Noon	10/6/15	12:00	1314,35	2818,46	0,00	3,55	37,04	0,00	1,69	17,60	0,00	40,60	19,28	161742	124	5	194,87
Noon	11/6/15	12:00	1329,95	2910,34	0,00	34,74	204,66	0,00	16,50	97,21	0,00	239,40	113,72	161503	119	24	239,40
R.O.S.P.	12/6/15	02:42	1339,95	2966,51	0,00	22,29	125,10	0,00	10,59	59,42	0,00	147,39	70,01	161356	121	14	252,67
Noon	12/6/15	12:00	1364,61	2985,68	0,00	54,91	42,70	0,00	26,08	20,28	0,00	97,61	46,37	161258	120	11	209,17
Noon	13/6/15	12:00	1431,30	3046,41	0,00	148,54	135,25	0,00	70,56	64,25	0,00	283,80	134,80	160974	114	24	283,80
Noon	14/6/15	12:00	1494,60	3122,69	0,00	140,99	169,91	0,00	66,97	80,71	0,00	310,90	147,68	160663	107	24	310,90
Noon	15/6/15	12:00	1557,78	3201,06	0,00	140,72	174,56	0,00	66,84	82,91	0,00	315,27	149,76	160348	104	24	315,27
Noon	16/6/15	12:00	1623,11	3276,64	0,00	145,52	168,35	0,00	69,12	79,97	0,00	313,87	149,09	160034	111	24	313,87
Noon	17/6/15	12:00	1684,28	3350,62	0,00	136,24	164,76	0,00	64,71	78,26	0,00	301,00	142,98	159733	120	23	314,09
Noon	18/6/15	12:00	1750,78	3420,33	0,00	148,10	155,28	0,00	70,35	73,76	0,00	303,38	144,10	159430	125	24	303,38
Noon	19/6/15	12:00	1814,97	3492,47	0,00	142,98	160,68	0,00	67,92	76,32	0,00	303,66	144,24	159126	109	24	303,66
Noon	20/6/15	12:00	1874,86	3567,56	0,00	133,39	167,25	0,00	63,36	79,44	0,00	300,63	142,80	158826	99	24	300,63
Noon	21/6/15	12:00	1939,14	3623,27	0,00	143,19	124,08	0,00	68,01	58,94	0,00	267,27	126,95	158558	100	24	267,27
Noon	22/6/15	12:00	2000,95	3635,92	0,00	137,66	28,18	0,00	65,39	13,39	0,00	165,84	78,77	158392	112	24	165,84
Noon	23/6/15	12:00	2062,49	3709,13	0,00	137,07	163,06	0,00	65,11	77,45	0,00	300,13	142,56	158092	104	24	300,13
Noon	24/6/15	12:00	2127,08	3784,15	0,00	143,86	167,09	0,00	68,34	79,37	0,00	310,95	147,70	157781	100	24	310,95
Noon	25/6/15	12:00	2192,99	3815,57	0,00	146,81	70,00	0,00	69,74	33,25	0,00	216,81	102,99	157565	103	24	216,81
Noon	26/6/15	12:00	2257,19	3886,22	0,00	142,99	157,36	0,00	67,92	74,75	0,00	300,35	142,66	157264	109	24	300,35
Noon	27/6/15	12:00	2321,29	3960,14	0,00	142,76	164,64	0,00	67,81	78,21	0,00	307,41	146,02	156957	111	24	307,41
E.O.S.P.	28/6/15	10:30	2377,08	4003,36	0,00	124,27	96,26	0,00	59,03	45,72	0,00	220,53	104,75	156736	100	22	246,17
Noon	28/6/15	12:00	2378,64	4007,07	0,00	3,47	8,26	0,00	1,65	3,93	0,00	11,73	5,57	156725	110	2	187,70
CTS	28/6/15	15:54												156026			

SEVILL-201503

Ballast

$$\delta = 0,44897 \quad 0,475$$

	Date	Time	DFE Acc	GCU Acc	FV Acc	DFE m³	GCU m³	FV m³	DFE FOE	GCU FOE	FV FOE	BOG m³	BOG FOE	ROB m³	CTs mbar	Hours	BOG m³/day
CTS	29/6/15	10:26	0,00	0,00	0,00									4662			
Noon	29/6/15	12:00	0,27	1,26	0,00	0,60	2,80	0,00	0,29	1,33	0,00	3,41	1,62	4659	130		
S.O.S.P	29/6/15	14:18	3,61	2,84	0,00	7,44	3,53	0,00	3,53	1,67	0,00	10,96	5,21	4648	152	2	119,59
Noon	30/6/15	12:00	93,26	2,84	0,00	199,68	0,00	0,00	94,85	0,00	0,00	199,68	94,85	4448	152	22	219,83
Noon	1/7/15	12:00	194,56	2,84	0,00	225,61	0,00	0,00	107,17	0,00	0,00	225,61	107,17	4222	120	24	225,61
Noon	2/7/15	12:00	291,25	2,84	0,00	215,37	0,00	0,00	102,30	0,00	0,00	215,37	102,30	4007	135	24	215,37
Noon	3/7/15	12:00	399,45	2,84	0,00	241,00	0,00	0,00	114,48	0,00	0,00	241,00	114,48	3766	132	25	231,36
Noon	4/7/15	12:00	501,08	2,84	0,00	226,36	0,00	0,00	107,52	0,00	0,00	226,36	107,52	3540	117	24	226,36
Noon	5/7/15	12:00	568,66	22,72	0,00	150,51	44,28	0,00	71,49	21,03	0,00	194,79	92,53	3345	128	24	194,79
Noon	6/7/15	12:00	681,47	22,72	0,00	251,27	0,00	0,00	119,35	0,00	0,00	251,27	119,35	3094	114	24	251,27
Noon	7/7/15	12:00	801,12	22,72	0,00	266,51	0,00	0,00	126,59	0,00	0,00	266,51	126,59	2827	113	25	255,85
Noon	8/7/15	12:00	920,65	22,72	0,00	266,23	0,00	0,00	126,46	0,00	0,00	266,23	126,46	2561	100	25	255,58
Noon	9/7/15	12:00	1040,07	22,72	0,00	265,98	0,00	0,00	126,34	0,00	0,00	265,98	126,34	2295	110	25	255,34
Noon	10/7/15	12:00	1158,07	22,72	0,00	262,82	0,00	0,00	124,84	0,00	0,00	262,82	124,84	2032	101	25	252,30
Noon	11/7/15	12:00	1272,05	22,72	0,00	253,87	0,00	0,00	120,59	0,00	0,00	253,87	120,59	1778	169	25	243,72
Noon	12/7/15	12:00	1378,59	27,79	0,00	237,29	11,29	0,00	112,71	5,36	0,00	248,58	118,08	1530	117	24	248,58
E.O.S.P.	13/7/15	04:30	1410,85	60,86	0,00	71,86	73,65	0,00	34,13	34,99	0,00	145,51	69,12	1384	100	17	211,65
Noon	13/7/15	12:00	1415,18	82,32	0,00	9,65	47,80	0,00	4,58	22,71	0,00	57,45	27,29	1327	102	8	183,83

TRABAJO FIN DE MÁSTER																	
INGENIERÍA MARINA																	

Anchor	13/7/15	23:30	1421,92	117,46	0,00	15,01	78,27	0,00	7,13	37,18	0,00	93,28	44,31	1233	88	12	194,68
--------	---------	-------	---------	--------	------	-------	-------	------	------	-------	------	-------	-------	------	----	----	--------

SEVILL-201503

Laden

$$\delta = 0,43941 \quad 0,475$$

	Date	Time	DFE	GCU	FV	DFE	GCU	FV	DFE	GCU	FV	BOG		ROB	CTs	Hours	BOG
			Acc	Acc	Acc	m³	m³	m³	FOE	FOE	FOE	m³	FOE	m³	mbar		m³/day
CTS	14/7/15	23:15	0,00	0,00	0,00									160539			
Noon	15/7/15	12:00	7,56	66,70	0,00	17,21	151,79	0,00	8,17	72,10	0,00	169,00	80,28	160370		13	
S.O.S.P	16/7/15	09:00	19,56	171,04	0,00	27,31	237,45	0,00	12,97	112,79	0,00	264,76	125,76	160105		21	302,58
Noon	16/7/15	12:00	24,88	182,07	0,00	12,11	25,10	0,00	5,75	11,92	0,00	37,21	17,67	160068		3	297,67
Noon	17/7/15	12:00	79,02	282,21	0,00	123,21	227,90	0,00	58,53	108,25	0,00	351,11	166,78	159717		24	351,11
Noon	18/7/15	12:00	135,76	375,46	0,00	129,13	212,22	0,00	61,34	100,80	0,00	341,34	162,14	159376		24	341,34
Noon	19/7/15	12:00	192,46	464,75	0,00	129,04	203,20	0,00	61,29	96,52	0,00	332,23	157,81	159043		24	332,23
Noon	20/7/15	12:00	248,89	547,60	0,00	128,42	188,56	0,00	61,00	89,56	0,00	316,98	150,57	158726		24	316,98
Noon	21/7/15	12:00	305,21	623,11	0,00	128,17	171,84	0,00	60,88	81,63	0,00	300,01	142,51	158426		24	300,01
Noon	22/7/15	12:00	394,62	656,21	0,00	203,48	75,33	0,00	96,65	35,78	0,00	278,81	132,43	158148	125	24	278,81
Noon	23/7/15	12:00	499,96	689,39	0,00	239,72	75,51	0,00	113,87	35,87	0,00	315,22	149,73	157832	120	24	315,22
Noon	24/7/15	12:00	597,77	721,01	0,00	222,61	71,97	0,00	105,74	34,19	0,00	294,58	139,92	157538	120	24	294,58
Noon	25/7/15	12:00	639,57	776,69	0,00	95,13	126,71	0,00	45,19	60,19	0,00	221,84	105,37	157316	98	24	221,84
Noon	26/7/15	12:00	699,12	840,80	0,00	135,52	145,89	0,00	64,37	69,30	0,00	281,41	133,67	157034	103	24	281,41
Noon	27/7/15	12:00	805,35	842,14	0,00	241,77	3,06	0,00	114,84	1,45	0,00	244,82	116,29	156790	106	24	244,82
Noon	28/7/15	12:00	873,17	897,14	0,00	154,33	125,18	0,00	73,31	59,46	0,00	279,51	132,77	156510	103	24	279,51
Noon	29/7/15	12:00	939,80	943,73	0,00	151,65	106,01	0,00	72,03	50,35	0,00	257,66	122,39	156253	100	24	257,66
F.O.SP	30/7/15	02:00	981,31	970,06	0,00	94,47	59,93	0,00	44,87	28,47	0,00	154,40	73,34	156098	100	14	264,68

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

SEVILL-2015XX

Laden

$$\delta = 439,41 \quad 0,475$$

	Date	Time	DFE Acc	GCU Acc	FV Acc	DFE m³	GC U m³	FV m³	DFE FOE	GCU FOE	FV FOE	BOG m³	BOG FOE	ROB m³	CTs mbar	Hours	BOG m³/day
CTS	1/8/15	02:15	0,00	0,00	0,00									5011			
SOSP	1/8/15	07:00	1,18	8,19	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02	0,01	5011	142		
NOON	1/8/15	12:00	21075,18	17678,19	0,00	47,96	40,21	0,00	22,78	19,10	0,00	88,17	41,88	4923	148	5	423,23
IOSP	1/8/15	20:00	60187,90	25857,40	0,00	89,01	18,61	0,00	42,28	8,84	0,00	107,63	51,12	4815	112	8	322,88
NOON	2/8/15	12:00	69869,80	83692,40	0,00	22,03	131,62	0,00	10,47	62,52	0,00	153,65	72,99	4662	117	16	230,48
ROSP	3/8/15	08:45	89173,10	144546,10	0,00	43,93	138,49	0,00	20,87	65,78	0,00	182,42	86,65	4479	120	21	208,48
NOON	3/8/15	12:00	100447,30	144777,40	0,00	25,66	0,53	0,00	12,19	0,25	0,00	26,18	12,44	4453	119	3	209,47
NOON	4/8/15	12:00	188265,20	144777,40	0,00	199,85	0,00	0,00	94,93	0,00	0,00	199,85	94,93	4253	113	24	199,85
NOON	5/8/15	12:00	271540,30	144777,40	0,00	189,52	0,00	0,00	90,02	0,00	0,00	189,52	90,02	4064	117	24	189,52
NOON	6/8/15	12:00	339477,50	164953,90	0,00	154,61	45,92	0,00	73,44	21,81	0,00	200,53	95,25	3863	106	24	200,53
NOON	7/8/15	12:00	394336,00	197779,00	0,00	124,85	74,70	0,00	59,30	35,48	0,00	199,55	94,79	3663	108	24	199,55
IOSP	8/8/15	06:30	427018,10	233794,10	0,00	74,38	81,96	0,00	35,33	38,93	0,00	156,34	74,26	3507	101	19	197,48
NOON	8/8/15	12:00	430471,80	250887,60	0,00	7,86	38,90	0,00	3,73	18,48	0,00	46,76	22,21	3460	98	5	224,45
NOON	8/8/15	16:00	432998,70	260808,10	0,00	5,75	22,58	0,00	0,00	0,00	0,00	28,33	0,00	3432	107	4	169,97
NOON	9/8/15	12:00	494584,00	261085,40	0,00	140,15	0,63	0,00	0,00	0,00	0,00	140,79	0,00	3291	148	20	168,94
NOON	10/8/15	12:00	560225,40	274673,30	0,00	149,39	30,92	0,00	0,00	0,00	0,00	180,31	0,00	3111	145	24	180,31

TRABAJO FIN DE MÁSTER																	
INGENIERÍA MARINA																	

NOON	11/8/15	12:00	624687,4	274673,30	0,00	146,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	146,70	0,00	2964	151	24	146,70
NOON	12/8/15	12:00	732730,10	274715,80	0,00	392,58	0,10	0,00	186,48	0,05	0,00	392,68	186,52	2572	132	24	392,68
NOON	13/8/15	12:00	792388,50	292340,20	0,00	135,77	40,11	0,00	64,49	19,05	0,00	175,88	83,54	2396	129	24	175,88
NOON	14/8/15	12:00	848419,00	299700,00	0,00	127,51	16,75	0,00	60,57	7,96	0,00	144,26	68,52	2251	137	24	144,26
NOON	15/8/15	12:00	901689,10	299700,60	0,00	121,23	0,00	0,00	57,58	0,00	0,00	121,23	57,59	2130	160	24	121,23
NOON	16/8/15	12:00	940192,00	334531,70	0,00	87,62	79,27	0,00	41,62	37,65	0,00	166,89	79,27	1963	112	24	166,89
NOON	17/8/15	12:00	980606,30	439103,70	0,00	91,97	237,98	0,00	43,69	113,04	0,00	329,96	156,73	1633	187	24	329,96
EOSP	18/8/15	04:18	1013941,30	484042,70	0,00	75,86	102,27	0,00	36,03	48,58	0,00	178,13	84,61	1455	112	16	267,20

SEVILL-201505

Laden

$$\delta = 0,450802 \quad 0,475$$

	Date	Time	DFE	GCU	FV	DFE	GCU	FV	DFE	GCU	FV	BOG		ROB	CTs	Hours	BOG
			Acc	Acc	Acc	m³	m³	m³	FOE	FOE	FOE	m³	FOE	m³	mbar		m³/day
CTS	5/10/15	09:40	0,00	0,00	0,00									145679			
SOSP	5/10/15	12:00	0,27	6,14	0,00	0,61	13,61	0,00	0,29	6,47	0,00	14,22	6,75	145665	121		
I.O.S.P.	5/10/15	13:30	2,48	10,71	0,00	4,90	10,15	0,00	2,33	4,82	0,00	15,04	7,14	145650	117	2	240,67
R.O.S.P.	5/10/15	17:00	5,39	21,30	0,00	6,46	23,49	0,00	3,07	11,16	0,00	29,96	14,23	145620	110	4	205,41
Noon	6/10/15	12:00	95,49	21,47	0,00	199,85	0,37	0,00	94,93	0,17	0,00	200,21	95,10	145420	134	19	252,90
Noon	7/10/15	12:00	214,24	21,47	0,00	263,43	0,00	0,00	125,13	0,00	0,00	263,43	125,13	145156	130	24	263,43
Noon	8/10/15	12:00	328,22	21,47	0,00	252,84	0,00	0,00	120,10	0,00	0,00	252,84	120,10	144903	121	23	263,83
Noon	9/10/15	12:00	448,02	21,47	0,00	265,74	0,00	0,00	126,22	0,00	0,00	265,74	126,22	144638	104	24	265,74
Noon	#####	12:00	561,30	21,47	0,00	251,28	0,00	0,00	119,36	0,00	0,00	251,28	119,36	144386	103	23	262,21
Noon	#####	12:00	674,67	21,47	0,00	251,49	0,00	0,00	119,46	0,00	0,00	251,49	119,46	144135	126	24	251,49

TRABAJO FIN DE MÁSTER																	
INGENIERÍA MARINA																	

Noon	#####	12:00	788,63	21,47	0,00	252,81	0,00	0,00	120,08	0,00	0,00	252,81	120,08	143882	130	24	252,81
Noon	#####	12:00	900,54	21,47	0,00	248,24	0,00	0,00	117,92	0,00	0,00	248,24	117,92	143634	115	23	259,04
Noon	#####	12:00	1016,07	21,47	0,00	256,27	0,00	0,00	121,73	0,00	0,00	256,27	121,73	143377	105	24	256,27
Noon	#####	12:00	1129,08	21,47	0,00	250,69	0,00	0,00	119,08	0,00	0,00	250,69	119,08	143127	100	23	261,59
Noon	#####	12:00	1246,70	21,47	0,00	260,92	0,00	0,00	123,94	0,00	0,00	260,92	123,94	142866	95	24	260,92
Noon	#####	12:00	1357,03	21,47	0,00	244,73	0,00	0,00	116,25	0,00	0,00	244,73	116,25	142621	108	23	255,38
Noon	#####	12:00	1473,64	21,47	0,00	258,67	0,00	0,00	122,87	0,00	0,00	258,67	122,87	142362	95	24	258,67
Noon	#####	12:00	1576,75	21,47	0,00	228,73	0,00	0,00	108,64	0,00	0,00	228,73	108,64	142134	75	23	238,67
Noon	#####	12:00	1659,15	21,47	0,00	182,80	0,00	0,00	86,83	0,00	0,00	182,80	86,83	141951	83	24	182,80
Noon	#####	12:00	1735,76	21,47	0,00	169,94	0,00	0,00	80,72	0,00	0,00	169,94	80,72	141781	93	23	177,33
Noon	#####	12:00	1817,16	21,47	0,00	180,55	0,00	0,00	85,76	0,00	0,00	180,55	85,76	141600	91	24	180,55
Noon	#####	12:00	1894,17	21,47	0,00	170,83	0,00	0,00	81,14	0,00	0,00	170,83	81,14	141430	99	23	178,26
Noon	#####	12:00	1996,24	21,47	0,00	226,42	0,00	0,00	107,55	0,00	0,00	226,42	107,55	141203	94	24	226,42
Noon	#####	12:00	2097,57	21,47	0,00	224,79	0,00	0,00	106,78	0,00	0,00	224,79	106,78	140978	92	23	234,56
Noon	#####	12:00	2197,70	21,47	0,00	222,10	0,00	0,00	105,50	0,00	0,00	222,10	105,50	140756	107	23	231,76
Noon	#####	12:00	2304,89	21,47	0,00	237,79	0,00	0,00	112,95	0,00	0,00	237,79	112,95	140519	104	24	237,79
Noon	#####	12:00	2400,14	21,47	0,00	211,28	0,00	0,00	100,36	0,00	0,00	211,28	100,36	140307	99	23	220,47
Noon	#####	12:00	2467,86	39,10	0,00	150,23	39,12	0,00	71,36	18,58	0,00	189,36	89,94	140118	100	24	189,36
Noon	#####	12:00	2533,42	80,80	0,00	145,42	92,50	0,00	69,07	43,94	0,00	237,91	113,01	139880	101	24	237,91
Noon	#####	12:00	2585,88	119,93	0,00	116,37	86,81	0,00	55,28	41,23	0,00	203,18	96,51	139677	99	24	207,50
E.O.S.P	1/11/15	09:00	2620,47	172,21	0,00	76,73	115,96	0,00	36,44	55,08	0,00	192,68	91,52	139484	95	24	192,68
Noon	2/11/15	12:00	2621,98	181,32	0,00	3,36	20,22	0,00	1,60	9,60	0,00	23,58	11,20	139461	100	3	188,62
C.T.S.	3/11/15	15:51	2621,98	200,17	0,00	0,00	41,81		0,00	19,86		41,81	19,86	139419			

SEVILL-201506

Ballast

$$\delta = 0,450802 \quad 0,475$$

	Date	Time	DFE Acc	GCU Acc	FV Acc	DFE m³	GCU m³	FV m³	DFE FOE	GCU FOE	FV FOE	BOG m³	BOG FOE	ROB m³	CTs mbar	Hours	BOG m³/day
CTS	2/11/15	10:55	0,00	0,00	0,00									7892			
SOSP	2/11/15	13:48	0,66	11,71	0,00	1,45	25,98	0,00	0,69	12,34	0,00	27,44	13,03	7864	148		
Noon	3/11/15	12:00	87,09	17,82	0,00	191,74	13,53	0,00	91,08	6,43	0,00	205,28	97,51	7659	131	22	223,94
Noon	4/11/15	12:00	187,36	17,82	0,00	222,41	0,00	0,00	105,64	0,00	0,00	222,41	105,64	7437	100	25	217,87
Noon	5/11/15	12:00	286,83	17,82	0,00	220,66	0,00	0,00	104,81	0,00	0,00	220,66	104,81	7216	100	24	220,66
Noon	6/11/15	12:00	386,60	17,82	0,00	221,32	0,00	0,00	105,13	0,00	0,00	221,32	105,13	6995	120	25	212,47
Noon	7/11/15	12:00	462,04	17,82	0,00	167,34	0,00	0,00	79,48	0,00	0,00	167,34	79,48	6827	142	24	167,34
Noon	8/11/15	12:00	540,09	17,82	0,00	173,15	0,00	0,00	82,25	0,00	0,00	173,15	82,25	6654	149	24	173,15
Noon	9/11/15	12:00	641,52	17,82	0,00	225,01	0,00	0,00	106,88	0,00	0,00	225,01	106,88	6429	110	25	216,01
Noon	#####	12:00	735,48	17,82	0,00	208,43	0,00	0,00	99,00	0,00	0,00	208,43	99,00	6221	91	24	208,43
Noon	#####	12:00	813,17	17,82	0,00	172,34	0,00	0,00	81,86	0,00	0,00	172,34	81,86	6048	106	24	172,34
Noon	#####	12:00	906,05	17,82	0,00	206,02	0,00	0,00	97,86	0,00	0,00	206,02	97,86	5842	83	25	197,78
Noon	#####	12:00	978,97	17,82	0,00	161,75	0,00	0,00	76,83	0,00	0,00	161,75	76,83	5681	157	24	161,75
Noon	#####	12:00	1067,25	17,82	0,00	195,83	0,00	0,00	93,02	0,00	0,00	195,83	93,02	5485	178	25	188,00
Noon	#####	12:00	1178,27	17,82	0,00	246,29	0,00	0,00	116,99	0,00	0,00	246,29	116,99	5238	170	24	246,29
Noon	#####	12:00	1293,86	17,82	0,00	256,40	0,00	0,00	121,79	0,00	0,00	256,40	121,79	4982	99	25	246,14
Noon	#####	12:00	1373,89	17,82	0,00	177,52	0,00	0,00	84,32	0,00	0,00	177,52	84,32	4805	108	24	177,52
Noon	#####	12:00	1449,66	17,82	0,00	168,09	0,00	0,00	79,84	0,00	0,00	168,09	79,84	4636	129	25	161,36
Noon	#####	12:00	1523,24	17,82	0,00	163,22	0,00	0,00	77,53	0,00	0,00	163,22	77,53	4473	148	24	163,22
Noon	#####	12:00	1621,98	17,82	0,00	219,03	0,00	0,00	104,04	0,00	0,00	219,03	104,04	4254	105	25	210,26

TRABAJO FIN DE MÁSTER																	
INGENIERÍA MARINA																	

Noon	#####	12:00	1701,67	17,82	0,00	176,77	0,00	0,00	83,96	0,00	0,00	176,77	83,96	4077	108	24	176,77
Noon	#####	12:00	1777,77	17,82	0,00	168,81	0,00	0,00	80,19	0,00	0,00	168,81	80,19	3909	133	25	162,06
Noon	#####	12:00	1854,51	17,82	0,00	170,23	0,00	0,00	80,86	0,00	0,00	170,23	80,86	3738	149	24	170,23
Noon	#####	12:00	1948,73	17,82	0,00	209,02	0,00	0,00	99,28	0,00	0,00	209,02	99,28	3529	137	25	200,66
I.O.S.P	#####	06:00	2019,86	17,82	0,00	157,79	0,00	0,00	74,95	0,00	0,00	157,79	74,95	3372	110	18	210,39
Noon	#####	12:00	2024,58	37,58	0,00	10,46	43,84	0,00	4,97	20,82	0,00	54,29	25,79	3317	97	6	217,17
Noon	#####	12:00	2037,57	111,64	0,00	28,83	164,29	0,00	13,70	78,04	0,00	193,12	91,73	3124	94	24	193,12
Noon	#####	12:00	2051,20	184,04	0,00	30,23	160,60	0,00	14,36	76,28	0,00	190,83	90,64	2933	92	24	190,83
Noon	#####	12:00	2064,38	251,48	0,00	29,24	149,62	0,00	13,89	71,07	0,00	178,85	84,95	2754	92	24	178,85
R.O.S.P.	#####	20:48	2069,96	278,05	0,00	12,37	58,93	0,00	5,88	27,99	0,00	71,30	33,87	2683	87	9	190,13
Noon	#####	12:00	2089,87	305,40	0,00	44,18	60,67	0,00	20,98	28,82	0,00	104,85	49,80	2578	92	15	167,76
Noon	#####	12:00	2121,90	354,25	0,00	71,04	108,36	0,00	33,75	51,47	0,00	179,40	85,22	2399	93	24	179,40
Noon	1/12/15	12:00	2153,72	402,09	0,00	70,58	106,13	0,00	33,52	50,41	0,00	176,71	83,94	2222	118	24	176,71
Noon	2/12/15	12:00	2184,90	461,30	0,00	69,16	131,32	0,00	32,85	62,38	0,00	200,49	95,23	2022	111	24	200,49
Noon	3/12/15	12:00	2216,65	530,53	0,00	70,44	153,59	0,00	33,46	72,96	0,00	224,03	106,42	1798	85	24	224,03
Noon	4/12/15	12:00	2248,37	594,13	0,00	70,35	141,07	0,00	33,42	67,01	0,00	211,42	100,42	1586	114	24	211,42
E.O.S.P.	5/12/15	06:00	2273,45	643,96	0,00	55,64	110,54	0,00	26,43	52,50	0,00	166,18	78,94	1420	92	18	221,57
CTS					0,00			0,00			0,00			1030			

SEVILL-201506

Laden

$$\delta = 427,015 \quad 0,475$$

	Date	Time	DFE Acc	GCU Acc	FV Acc	DFE m ³	GCU m ³	FV m ³	DFE FOE	GCU FOE	FV FOE	BOG m ³	BOG FOE	ROB m ³	CTs mbar	Hours	BOG m ³ /day
CTS	06,12,15	07:45	0,00	0,00	0,00									151039	123,0		
SOSP	06,12,15	13:13	0,00	0,00	0,00	8,00	50,00	0,00	3,80	23,75	0,00	58,00	27,55	150981	137		
NOON	07,12,15	12:00	101532,80	411,10	0,00	237,77	0,96	0,00	112,94	0,46	0,00	238,74	113,40	150742	153	22	260,44
NOON	08,12,15	12:00	202624,90	411,10	0,00	236,74	0,00	0,00	112,45	0,00	0,00	236,74	112,45	150506	153	23	247,03
NOON	09,12,15	12:00	305196,40	411,10	0,00	240,21	0,00	0,00	114,10	0,00	0,00	240,21	114,10	150265	157	23	250,65
NOON	10,12,15	12:00	407302,00	411,10	0,00	239,11	0,00	0,00	113,58	0,00	0,00	239,11	113,58	150026	157	23	249,51
NOON	11,12,15	12:00	518182,40	411,10	0,00	259,66	0,00	0,00	123,34	0,00	0,00	259,66	123,34	149767	152	24	259,66
NOON	12,12,15	12:00	625326,80	411,10	0,00	250,91	0,00	0,00	119,18	0,00	0,00	250,91	119,18	149516	1503	23	261,82
NOON	13,12,15	12:00	709372,10	34440,00	0,00	196,82	79,69	0,00	93,49	37,85	0,00	276,51	131,34	149239	145	24	276,51
IOSP	14,12,15	07:00	759936,50	74957,70	0,00	118,41	94,89	0,00	56,25	45,07	0,00	213,30	101,32	149026	141	23	222,57
NOON	14,12,15	12:00	762930,10	91393,80	0,00	7,01	38,49	0,00	3,33	18,28	0,00	45,50	21,61	148980	136	5	218,41
ROSP	14,12,15	21:30	768385,30	124648,20	0,00	12,78	77,88	0,00	6,07	36,99	0,00	90,65	43,06	148890	142	10	229,01
NOON	15,12,15	12:00	796486,80	153913,00	0,00	65,81	68,53	0,00	31,26	32,55	0,00	134,34	63,81	148755	130	24	134,34
NOON	16,12,15	12:00	843493,00	203252,80	0,00	110,08	115,55	0,00	52,29	54,88	0,00	225,63	107,17	148530	131	24	225,63
NOON	17,12,15	12:00	883508,20	258804,30	0,00	93,71	130,09	0,00	44,51	61,79	0,00	223,80	106,31	148306	137	24	223,80
NOON	18,12,15	12:00	921118,80	341420,60	0,00	88,08	193,47	0,00	41,84	91,90	0,00	281,55	133,74	148024	156	24	281,55
NOON	19,12,15	12:00	957656,50	427277,50	0,00	85,57	201,06	0,00	40,64	95,50	0,00	286,63	136,15	147738	151	23	299,09
NOON	20,12,15	12:00	996791,30	516733,40	0,00	91,65	209,49	0,00	43,53	99,51	0,00	301,14	143,04	147437	144	24	301,14

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

NOON	#####	12:00	1036273,10	605240,90	0,00	92,46	207,27	0,00	43,92	98,45	0,00	299,73	142,37	147137	124	24	299,73
NOON	22,12,15	12:00	1075590,80	678238,00	0,00	92,08	170,95	0,00	43,74	81,20	0,00	263,02	124,94	146874	124	24	263,02
NOON	23,12,15	12:00	1114916,90	747711,90	0,00	92,10	162,70	0,00	43,75	77,28	0,00	254,79	121,03	146619	130	24	254,79
NOON	24,12,15	12:00	1154085,30	819327,90	0,00	91,73	167,71	0,00	43,57	79,66	0,00	259,44	123,23	146360	131	24	259,44
NOON	25,12,15	12:00	1193500,10	890994,90	0,00	92,30	167,83	0,00	43,84	79,72	0,00	260,14	123,56	146099	120	24	260,14
NOON	26,12,15	12:00	1232822,50	962247,80	0,00	92,09	166,86	0,00	43,74	79,26	0,00	258,95	123,00	145841	120	24	258,95
IOSP	26,12,15	15:42	1239162,50	973023,80	0,00	14,85	25,24	0,00	7,05	11,99	0,00	40,08	19,04	145800	121	4	240,50
NOON	27,12,15	12:00	1255033,10	1043939,80	0,00	37,17	166,07	0,00	17,65	78,89	0,00	203,24	96,54	145597	124	20	243,89
ROSP	27,12,15	18:12	1263141,00	1063358,90	0,00	18,99	45,48	0,00	9,02	21,60	0,00	64,46	30,62	145533	117	6	257,86
NOON	28,12,15	12:00	1307340,60	1109227,80	0,00	103,51	107,42	0,00	49,17	51,02	0,00	210,93	100,19	145322	122	18	281,23
EOSP	28,12,15	13:12	1309461,30	1113972,00	0,00	4,97	11,11	0,00	2,36	5,28	0,00	16,08	7,64	145306	123	1	385,84
NOON	29,12,15	11:50	1329933,90	1197314,60	0,00	47,94	195,17	0,00	22,77	92,71	0,00	243,12	115,48	145063	128	23	253,69
CTS	30,12,15	12:50	1348069,30	1301025,80	0,00	42,47	242,87	0,00	20,17	115,37	0,00	285,35	135,54	144777	128	23	297,75

SEVILL-2016-01B

Ballast

$$\delta = 427,015 \quad 0,475$$

	Date	Time	DFE	GCU	FV	DFE	GCU	FV	DFE	GCU	FV	BOG		ROB	CTs	Hours	BOG
			Acc	Acc	Acc	m³	m³	m³	FOE	FOE	FOE	m³	FOE	m³	mbar		m³/day
CTS	01,01,16	04:43	0,00	0,00	0,00									5151			
SOSP	01,01,16	09:00	0,00	0,00	0,00	2,00	5,00	0,00	0,95	2,38	0,00	7,00	3,33	5123	140		
NOON	01,01,16	12:00	5294,20	6972,10	0,00	12,40	16,33	0,00	5,89	7,76	0,00	28,73	13,64	5094	142	3	229,81

TRABAJO FIN DE MASTER																	
INGENIERÍA MARINA																	

NOON	02,01,16	12:00	96519,70	17403,10	0,00	213,64	24,43	0,00	101,48	11,60	0,00	238,06	113,08	4856	117	24	238,06
NOON	03,01,16	12:00	185139,80	17403,10	0,00	207,53	0,00	0,00	98,58	0,00	0,00	207,53	98,58	4649	110	24	207,53
NOON	04,01,16	12:00	248524,40	21876,40	0,00	148,44	10,48	0,00	70,51	4,98	0,00	158,91	75,48	4490	144	24	158,91
NOON	05,01,16	12:00	332535,50	7307,40	0,00	196,74	-34,12	0,00	93,45	-16,21	0,00	162,62	77,25	4327	114	24	162,62
NOON	06,01,16	12:00	385915,40	49827,40	0,00	125,01	99,57	0,00	59,38	47,30	0,00	224,58	106,68	4103	132	24	224,58
NOON	07,01,16	12:00	443176,30	64897,70	0,00	134,10	35,29	0,00	63,70	16,76	0,00	169,39	80,46	3933	158	24	169,39
NOON	08,01,16	12:00	541086,90	64897,70	0,00	229,29	0,00	0,00	108,91	0,00	0,00	229,29	108,91	3704	112	24	229,29
NOON	09,01,16	12:00	655162,40	64897,70	0,00	267,15	0,00	0,00	126,89	0,00	0,00	267,15	126,89	3437	132	24	267,15
NOON	10,01,16	12:00	700662,30	65046,10	0,00	106,55	0,35	0,00	50,61	0,17	0,00	106,90	50,78	3330	140	24	106,90
NOON	11,01,16	12:00	779184,30	65046,10	0,00	183,89	0,00	0,00	87,35	0,00	0,00	183,89	87,35	3146	122	24	183,89
NOON	12,01,16	12:00	845709,00	65046,10	0,00	155,79	0,00	0,00	74,00	0,00	0,00	155,79	74,00	2990	115	24	155,79
NOON	13,01,16	12:00	888324,50	65046,10	0,00	99,80	0,00	0,00	47,40	0,00	0,00	99,80	47,40	2890	153	24	99,80
NOON	14,01,16	12:00	945821,50	65046,10	0,00	134,65	0,00	0,00	63,96	0,00	0,00	134,65	63,96	2756	107	24	134,65
NOON	15,01,16	12:00	985520,80	65046,10	0,00	92,97	0,00	0,00	44,16	0,00	0,00	92,97	44,16	2663	126	24	92,97
NOON	16,01,16	12:00	1024586,30	65046,10	0,00	91,49	0,00	0,00	43,46	0,00	0,00	91,49	43,46	2571	139	24	91,49
NOON	17,01,16	12:00	1072830,80	65046,10	0,00	112,98	0,00	0,00	53,67	0,00	0,00	112,98	53,67	2458	111	24	112,98
NOON	18,01,16	12:00	1114292,00	65046,10	0,00	97,10	0,00	0,00	46,12	0,00	0,00	97,10	46,12	2361	140	24	97,10
IOSP	19,01,16	09:30	1154635,60	65046,10	0,00	94,48	0,00	0,00	44,88	0,00	0,00	94,48	44,88	2267	139	21	106,45
ROSP	19,01,16	11:30	1156368,90	68414,90	0,00	4,06	7,89	0,00	1,93	3,75	0,00	11,95	5,68	2255	129	2	143,38
NOON	19,01,16	12:00	1157245,60	68841,30	0,00	2,05	1,00	0,00	0,98	0,47	0,00	3,05	1,45	2252	125	1	146,48
NOON	20,01,16	12:00	1202860,80	76565,30	0,00	106,82	18,09	0,00	50,74	8,59	0,00	124,91	59,33	2127	104	24	124,91
NOON	21,01,16	12:00	1255765,10	77132,60	0,00	123,89	1,33	0,00	58,85	0,63	0,00	125,22	59,48	2002	147	24	125,22
NOON	22,01,17	12:00	1309787,10	77132,60	0,00	126,51	0,00	0,00	60,09	0,00	0,00	126,51	60,09	1875	138	24	126,51
NOON	23,01,16	12:00	1365597,80	78198,30	0,00	130,70	2,50	0,00	62,08	1,19	0,00	133,20	63,27	1742	116	24	133,20
NOON	24,01,16	12:00	1430456,80	112434,90	0,00	151,89	80,18	0,00	72,15	38,08	0,00	232,07	110,23	1510	137	24	232,07
NOON	25,01,16	12:00	1497819,80	148653,90	0,00	157,75	84,82	0,00	74,93	40,29	0,00	242,57	115,22	1267	159	24	242,57
NOON	26,01,16	12:00	1582458,40	172211,10	0,00	198,21	55,17	0,00	94,15	26,20	0,00	253,38	120,35	1014	111	24	253,38

TRABAJO FIN DE MÁSTER																	
INGENIERÍA MARINA																	

NOON	27,01,16	12:00	1656567,10	172211,10	0,00	173,55	0,00	0,00	82,44	0,00	0,00	173,55	82,44	840	111	24	173,55
EOSP	28,01,16	11:42	1736542,10	172211,10	0,00	187,29	0,00	0,00	88,96	0,00	0,00	187,29	88,96	653	103	23	195,43

SEVILL-2016-01L

CTS

Laden

$\delta =$ 450,17 0,475

	Date	Time	DFE	GCU	FV	DFE	GCU	FV	DFE	GCU	FV	BOG		ROB	CTs	Hours	BOG
			Acc	Acc	Acc	m³	m³	m³	FOE	FOE	FOE	m³	FOE	m³	mbar		m³/day
SOSP			0,00	0,00	0,00									140589			
NOON	30/1/16	12:00	4509,00	0,00	0,00	10,02		0,00	4,76		0,00	10,02	4,76	140579	99	2	
NOON	31/1/16	12:00	65468,10	0,00	0,00	135,41		0,00	64,32		0,00	135,41	64,32	140444	115	24	135,41
NOON	1/2/16	12:00	126685,60	0,00	0,00	135,99		0,00	64,59		0,00	135,99	64,59	140308	126	24	135,99
NOON	2/2/16	12:00	185441,40	32458,60	0,00	130,52	72,10	0,00	62,00	34,25	0,00	202,62	96,25	140105	121	24	202,62
NOON	3/2/16	12:00	244135,00	63613,90	0,00	130,38	69,21	0,00	61,93	32,87	0,00	199,59	94,80	139905	120	23	208,27
NOON	4/2/16	12:00	301492,10	96340,40	0,00	127,41	72,70	0,00	60,52	34,53	0,00	200,11	95,05	139705	126	24	200,11
NOON	5/2/16	12:00	364037,00	129615,80	0,00	138,94	73,92	0,00	65,99	35,11	0,00	212,85	101,11	139492	124	24	212,85
NOON	6/2/16	12:00	457721,40	135742,50	0,00	208,11	13,61	0,00	98,85	6,46	0,00	221,72	105,32	139271	127	24	221,72
NOON	7/2/16	12:00	552690,30	135742,50	0,00	210,96	0,00	0,00	100,21	0,00	0,00	210,96	100,21	139060	126	24	210,96
NOON	8/2/16	12:00	653670,90	135742,50	0,00	224,32	0,00	0,00	106,55	0,00	0,00	224,32	106,55	138835	129	24	224,32
NOON	9/2/16	12:00	752032,90	135742,50	0,00	218,50	0,00	0,00	103,79	0,00	0,00	218,50	103,79	138617	136	23	228,00
NOON	10/2/16	12:00	854668,20	135742,50	0,00	227,99	0,00	0,00	108,30	0,00	0,00	227,99	108,30	138389	143	24	227,99

TRABAJO FIN DE MÁSTER																		
INGENIERÍA MARINA																		

NOON	11/2/16	12:00	954850,60	135742,50	0,00	222,54	0,00	0,00	105,71	0,00	0,00	222,54	105,71	138166	139	23	232,22
IOSP	11/2/16	17:30	975022,20	135854,30	0,00	44,81	0,25	0,00	21,28	0,12	0,00	45,06	21,40	138121	142	4	251,48
ROSP	11/2/16	23:48	980583,60	160179,70	0,00	12,35	54,04	0,00	5,87	25,67	0,00	66,39	31,54	138055	139	6	265,56
NOON	12/2/16	12:00	1033219,50	161478,10	0,00	116,92	2,88	0,00	55,54	1,37	0,00	119,81	56,91	137935	134	12	239,62
NOON	13/2/16	12:00	1135325,50	161478,10	0,00	226,82	0,00	0,00	107,74	0,00	0,00	226,82	107,74	137708	125	24	226,82
NOON	14/2/16	12:00	1204359,00	161478,10	0,00	153,35	0,00	0,00	72,84	0,00	0,00	153,35	72,84	137555	128	24	153,35
NOON	15/2/16	12:00	1286882,40	161478,00	0,00	183,32	0,00	0,00	87,08	0,00	0,00	183,32	87,08	137372	140	24	183,32
NOON	16/2/16	12:00	1365128,60	171045,70	0,00	173,81	21,25	0,00	82,56	10,10	0,00	195,07	92,66	137177	135	24	195,07
NOON	17/2/16	12:00	1432983,80	243568,80	0,00	150,73	161,10	0,00	71,60	76,52	0,00	311,83	148,12	136865	112	25	299,36
NOON	18/2/16	12:00	1483834,90	293238,90	0,00	112,96	110,34	0,00	53,66	52,41	0,00	223,30	106,07	136641	120	24	223,30
NOON	19/2/16	12:00	1520450,10	319355,00	0,00	81,34	58,01	0,00	38,63	27,56	0,00	139,35	66,19	136502	134	24	139,35
NOON	20/2/16	12:00	1587371,10	329444,80	0,00	148,66	22,41	0,00	70,61	10,65	0,00	171,07	81,26	136331	132	24	171,07
NOON	21/2/16	12:00	1688580,90	329444,80	0,00	224,83	0,00	0,00	106,79	0,00	0,00	224,83	106,79	136106	126	24	224,83
NOON	22/2/16	12:00	1770020,90	337901,80	0,00	180,91	18,79	0,00	85,93	8,92	0,00	199,70	94,86	135906	149	24	199,70
NOON	23/2/16	12:00	1807217,00	420918,90	0,00	82,63	184,41	0,00	39,25	87,60	0,00	267,04	126,84	135639	119	24	267,04
NOON	24/2/16	12:00	1844715,80	481549,90	0,00	83,30	134,68	0,00	39,57	63,98	0,00	217,98	103,54	135421	110	24	217,98
NOON	25/2/16	12:00	1883503,10	563166,30	0,00	86,16	181,30	0,00	40,93	86,12	0,00	267,46	127,04	135154	107	24	267,46
NOON	26/2/16	12:00	1921778,00	646940,10	0,00	85,02	186,09	0,00	40,39	88,39	0,00	271,12	128,78	134883	102	24	271,12
NOON	27/2/16	12:00	1959783,50	725112,10	0,00	84,42	173,65	0,00	40,10	82,48	0,00	258,07	122,59	134625	100	24	258,07
NOON	28/2/16	12:00	1999528,40	788348,00	0,00	88,29	140,47	0,00	41,94	66,72	0,00	228,76	108,66	134396	97	25	219,61
NOON	29/2/16	12:00	2037902,40	846035,50	0,00	85,24	128,15	0,00	40,49	60,87	0,00	213,39	101,36	134183	99	24	213,39
NOON	1/3/16	12:00	2075600,90	905855,70	0,00	83,74	132,88	0,00	39,78	63,12	0,00	216,63	102,90	133966	100	24	216,63
NOON	2/3/16	12:00	2113570,50	974587,90	0,00	84,35	152,68	0,00	40,06	72,52	0,00	237,03	112,59	133729	100	24	237,03
NOON	3/3/16	12:00	2151944,80	1048119,00	0,00	85,24	163,34	0,00	40,49	77,59	0,00	248,58	118,08	133480	100	24	248,58
EOSP	4/3/16	06:30	2184321,30	1096716,00	0,00	71,92	107,95	0,00	34,16	51,28	0,00	179,87	85,44	133301	109	19	233,35
CTS	4/3/16	11:49												132943			

SEVILL-2016-02B

Ballast

$$\delta = 451,39 \quad 0,475$$

	Date	Time	DFE Acc	GCU Acc	FV Acc	DFE m³	GCU m³	FV m³	DFE FOE	GCU FOE	FV FOE	BOG m³	BOG FOE	ROB m³	CTs mbar	Hours	BOG m³/day
CTS	5/3/16	14:48	0,00	0,00	0,00									7752			
SOSP	5/3/16	17:30	338,40	9371,90	0,00	0,75	20,76	0,00	0,36	9,86	0,00	21,51	10,22	7730	132		
NOON	6/3/16	12:00	61926,79	9894,82	0,00	136,44	1,16	0,00	64,81	0,55	0,00	137,60	65,36	7593	159	19	178,51
NOON	7/3/16	12:00	143730,00	9894,82	0,00	181,23	0,00	0,00	86,08	0,00	0,00	181,23	86,08	7412	161	24	181,23
NOON	8/3/16	12:00	222535,25	31401,44	0,00	174,58	47,65	0,00	82,93	22,63	0,00	222,23	105,56	7189	120	25	213,34
NOON	9/3/16	12:00	302373,72	31401,44	0,00	176,87	0,00	0,00	84,01	0,00	0,00	176,87	84,01	7013	105	24	176,87
NOON	10/3/16	12:00	366409,81	34354,27	0,00	141,86	6,54	0,00	67,39	3,11	0,00	148,41	70,49	6864	117	24	148,41
NOON	11/3/16	12:00	416509,90	53165,70	0,00	110,99	41,67	0,00	52,72	19,80	0,00	152,67	72,52	6711	111	24	152,67
NOON	12/3/16	12:00	472308,44	59968,27	0,00	123,61	15,07	0,00	58,72	7,16	0,00	138,69	65,88	6573	104	24	138,69
NOON	13/3/16	12:00	535070,00	59968,27	0,00	139,04	0,00	0,00	66,04	0,00	0,00	139,04	66,04	6434	105	24	139,04
NOON	14/3/16	12:00	592194,56	59968,27	0,00	126,55	0,00	0,00	60,11	0,00	0,00	126,55	60,11	6307	114	24	126,55
NOON	15/3/16	12:00	649111,25	59968,27	0,00	126,09	0,00	0,00	59,89	0,00	0,00	126,09	59,89	6181	126	24	126,09
NOON	16/3/16	12:00	708656,50	59968,27	0,00	131,92	0,00	0,00	62,66	0,00	0,00	131,92	62,66	6049	122	24	131,92
NOON	17/3/16	12:00	769888,75	59968,27	0,00	135,65	0,00	0,00	64,44	0,00	0,00	135,65	64,44	5914	114	24	135,65
IOSP	18/3/16	17:30	825666,13	59968,27	0,00	123,57	0,00	0,00	58,69	0,00	0,00	123,57	58,69	5790	119	24	123,57

TRABAJO FIN DE MÁSTER																	
INGENIERÍA MARINA																	

ROSP	18/3/16	23:48	881288,00	59968,27	0,00	123,22	0,00	0,00	58,53	0,00	0,00	123,22	58,53	5667	119	24	123,22
NOON	19/3/16	12:00	937112,31	59968,27	0,00	123,67	0,00	0,00	58,74	0,00	0,00	123,67	58,74	5543	119	24	123,67
NOON	20/3/16	12:00	995708,44	59968,27	0,00	129,81	0,00	0,00	61,66	0,00	0,00	129,81	61,66	5413	123	24	129,81
NOON	21/3/16	12:00	1061288,63	59968,27	0,00	145,28	0,00	0,00	69,01	0,00	0,00	145,28	69,01	5268	123	25	139,47
NOON	22/3/16	12:00	1125892,00	59968,27	0,00	143,12	0,00	0,00	67,98	0,00	0,00	143,12	67,98	5125	121	24	143,12
NOON	23/3/16	12:00	1189962,80	59968,27	0,00	141,94	0,00	0,00	67,42	0,00	0,00	141,94	67,42	4983	105	24	141,94
IOSP	24/3/16	12:00	1247258,60	59968,27	0,00	126,93	0,00	0,00	60,29	0,00	0,00	126,93	60,29	4856	95	23	132,45
NOON	25/3/16	12:00	1247367,63	64586,37	0,00	0,24	10,23	0,00	0,11	4,86	0,00	10,47	4,97	4846	99	1	251,34
ROSP	26/3/16	11:12	1260339,63	106159,77	0,00	28,74	92,10	0,00	13,65	43,75	0,00	120,84	57,40	4725	100	23	126,09
NOON	26/3/16	12:00	1261632,63	106159,77	0,00	2,86	0,00	0,00	1,36	0,00	0,00	2,86	1,36	4722	102	1	68,75
NOON	27/3/16	12:00	1315847,63	106159,77	0,00	120,11	0,00	0,00	57,05	0,00	0,00	120,11	57,05	4602	90	24	120,11
NOON	28/3/16	12:00	1370978,75	106159,77	0,00	122,14	0,00	0,00	58,01	0,00	0,00	122,14	58,01	4480	120	24	122,14
NOON	29/3/16	12:00	1429209,75	106159,77	0,00	129,00	0,00	0,00	61,28	0,00	0,00	129,00	61,28	4351	94	24	129,00
NOON	30/3/16	12:00	1485330,88	106159,77	0,00	124,33	0,00	0,00	59,06	0,00	0,00	124,33	59,06	4226	75	24	124,33
NOON	31/3/16	12:00	1554482,75	106159,77	0,00	153,20	0,00	0,00	72,77	0,00	0,00	153,20	72,77	4073	121	25	147,07
NOON	1/4/16	12:00	1618249,60	106159,77	0,00	141,27	0,00	0,00	67,10	0,00	0,00	141,27	67,10	3932	106	24	141,27
NOON	2/4/16	12:00	1683309,63	106159,77	0,00	144,13	0,00	0,00	68,46	0,00	0,00	144,13	68,46	3788	109	24	144,13
NOON	3/4/16	12:00	1754720,38	106159,77	0,00	158,20	0,00	0,00	75,15	0,00	0,00	158,20	75,15	3629	111	24	158,20
NOON	4/4/16	12:00	1826315,63	106159,77	0,00	158,61	0,00	0,00	75,34	0,00	0,00	158,61	75,34	3471	113	24	158,61
NOON	5/4/16	12:00	1901696,50	106159,77	0,00	167,00	0,00	0,00	79,32	0,00	0,00	167,00	79,32	3304	97	24	167,00
NOON	6/4/16	12:00	1978990,63	106159,77	0,00	171,24	0,00	0,00	81,34	0,00	0,00	171,24	81,34	3133	100	24	171,24
NOON	7/4/16	12:00	2056965,75	118061,74	0,00	172,74	26,37	0,00	82,05	12,52	0,00	199,11	94,58	2933	95	24	199,11
NOON	8/4/16	12:00	2135314,75	152387,17	0,00	173,57	76,04	0,00	82,45	36,12	0,00	249,62	118,57	2684	92	24	249,62
NOON	9/4/16	12:00	2204362,00	181520,90	0,00	152,97	64,54	0,00	72,66	30,66	0,00	217,51	103,32	2466	93	24	217,51
NOON	10/4/16	12:00	2268063,50	208562,16	0,00	141,12	59,91	0,00	67,03	28,46	0,00	201,03	95,49	2265	92	24	201,03
NOON	11/4/16	12:00	2331676,80	244025,80	0,00	140,93	78,57	0,00	66,94	37,32	0,00	219,49	104,26	2046	80	24	219,49
NOON	12/4/16	12:00	2395122,00	279088,60	0,00	140,56	77,68	0,00	66,76	36,90	0,00	218,23	103,66	1828	70	24	218,23

TRABAJO FIN DE MÁSTER																	
INGENIERÍA MARINA																	

NOON	13/4/16	12:00	2458434,75	318301,84	0,00	140,26	86,87	0,00	66,62	41,26	0,00	227,13	107,89	1600	85	24	227,13
NOON	14/4/16	12:00	2530490,86	360369,06	0,00	159,63	93,19	0,00	75,83	44,27	0,00	252,83	120,09	1348	85	24	252,83
NOON	15/4/16	12:00	2593642,50	398312,72	0,00	139,90	84,06	0,00	66,45	39,93	0,00	223,96	106,38	1124	80	24	223,96
NOON	16/4/16	12:00	2653161,41	428161,41	0,00	131,86	66,13	0,00	62,63	31,41	0,00	197,98	94,04	926	76	24	197,98
NOON	17/4/16	12:00	2653839,80	523397,30	0,00	1,50	210,98	0,00	0,71	100,22	0,00	212,49	100,93	713	72	24	212,49
NOON	18/4/16	12:00	2653839,80	567957,30	0,00	0,00	98,72	0,00	0,00	46,89	0,00	98,72	46,89	614	86	24	98,72
EOSP	19/4/16	07:24	2653839,80	575817,00	0,00	0,00	17,41	0,00	0,00	8,27	0,00	17,41	8,27	597	107	21	20,39
NOON		12:00	2653839,80	577839,00	0,00	0,00	4,48	0,00	0,00	2,13	0,00	4,48	2,13	593	107	5	23,89
	19/4/16	18:42												595			

SEVILL-2016-02B

Laden

$$\delta = 448,75 \quad 0,475$$

	Date	Time	DFE	GCU	FV	DFE	GCU	FV	DFE	GCU	FV	BOG		ROB	CTs	Hours	BOG
			Acc	Acc	Acc	m³	m³	m³	FOE	FOE	FOE	m³	FOE	m³	mbar		m³/day
CTS	20/4/16	23:24												139964			
SOSP	21/4/16	04:42	0,00	6440,70	0,00		14,35	0,00		6,82	0,00	14,35	6,82	139950	105		
NOON	21/4/16	12:00	19393,38	9514,89	0,00	43,22	6,85	0,00	20,53	3,25	0,00	50,07	23,78	139900	102	8	160,21

TRABAJO FIN DE MÁSTER																	
INGENIERÍA MARINA																	

NOON	22/4/16	12:00	119271,02	9514,89	0,00	222,57	0,00	0,00	105,72	0,00	0,00	222,57	105,72	139677	109	24	222,57
NOON	23/4/16	12:00	219308,77	9514,89	0,00	222,93	0,00	0,00	105,89	0,00	0,00	222,93	105,89	139454	107	24	222,93
NOON	24/4/16	12:00	322015,66	9514,89	0,00	228,87	0,00	0,00	108,71	0,00	0,00	228,87	108,71	139225	111	24	228,87
NOON	25/4/16	12:00	423813,41	9514,89	0,00	226,85	0,00	0,00	107,75	0,00	0,00	226,85	107,75	138998	117	24	226,85
NOON	26/4/16	12:00	521593,84	9514,89	0,00	217,90	0,00	0,00	103,50	0,00	0,00	217,90	103,50	138780	110	23	227,37
NOON	27/4/16	12:00	622635,13	9514,89	0,00	225,16	0,00	0,00	106,95	0,00	0,00	225,16	106,95	138555	104	24	225,16
NOON	28/4/16	12:00	725134,69	9514,89	0,00	228,41	0,00	0,00	108,50	0,00	0,00	228,41	108,50	138327	104	23	238,34
NOON	29/4/16	12:00	844445,00	9514,89	0,00	265,87	0,00	0,00	126,29	0,00	0,00	265,87	126,29	138061	112	24	265,87
NOON	30/4/16	12:00	960472,25	9514,89	23489,45	258,56	0,00	52,34	122,81	0,00	24,86	258,56	122,81	137802	101	23	269,80
NOON	1/5/16	12:00	1079414,88	9514,89	60076,49	265,05	0,00	81,53	125,90	0,00	38,73	265,05	125,90	137537	105	24	265,05
NOON	2/5/16	12:00	1192762,00	9514,89	94650,86	252,58	0,00	77,05	119,98	0,00	36,60	252,58	119,98	137285	108	23	263,57
NOON	3/5/16	12:00	1309272,13	9514,89	129475,45	259,63	0,00	77,60	123,33	0,00	36,86	259,63	123,33	137025	111	24	259,63
NOON	4/5/16	12:00	1414436,88	9514,89	152659,38	234,35	0,00	51,66	111,32	0,00	24,54	234,35	111,32	136791	109	23	244,54
NOON	5/5/16	12:00	1531799,13	9514,89	176644,19	261,53	0,00	53,45	124,23	0,00	25,39	261,53	124,23	136529	107	24	261,53
NOON	6/5/16	12:00	1638415,13	9514,89	184954,78	237,58	0,00	18,52	112,85	0,00	8,80	237,58	112,85	136292	101	23	247,91
NOON	7/5/16	12:00	1746075,38	9514,89	184954,78	239,91	0,00	0,00	113,96	0,00	0,00	239,91	113,96	136052	92	24	239,91
NOON	8/5/16	12:00	1849350,88	9514,89	184954,78	230,14	0,00	0,00	109,32	0,00	0,00	230,14	109,32	135822	81	23	240,15
NOON	9/5/16	12:00	1920946,63	30284,76	184954,78	159,54	46,28	0,00	75,78	21,98	0,00	205,83	97,77	135616	90	24	205,83
IOSP	9/5/16	13:00	1922587,00	33472,00	184954,78	3,66	7,10	0,00	1,74	3,37	0,00	10,76	5,11	135605	88	1	258,19
ROSP	9/5/16	16:00	1922587,00	44457,60	184954,78	0,00	24,48	0,00	0,00	11,63	0,00	24,48	11,63	135581	88	3	195,84
NOON	10/5/16	12:00	2008250,60	46023,30	184954,78	190,89	3,49	0,00	90,67	1,66	0,00	194,38	92,33	135386	88	20	233,26
NOON	11/5/16	12:00	2114171,00	46023,30	184954,78	236,03	0,00	0,00	112,12	0,00	0,00	236,03	112,12	135150	84	24	236,03
NOON	12/5/16	12:00	2208514,00	46023,30	184954,78	210,24	0,00	0,00	99,86	0,00	0,00	210,24	99,86	134940	110	24	210,24
EOSP	13/5/16	07:00	2257617,80	68065,80	184954,78	109,42	49,12	0,00	51,98	23,33	0,00	158,54	75,31	134781	97	19	200,27

SEVILL-2016-03B

Ballast

$$\delta = 448,75 \quad 0,475$$

	Date	Time	DFE Acc	GCU Acc	FV Acc	DFE m³	GCU m³	FV m³	DFE FOE	GCU FOE	FV FOE	BOG m³	BOG FOE	ROB m³	CTs mbar	Hours	BOG m³/day
CTS	14/5/16	05:02												5971			
SOSP	14/5/16	08:00	0,00	0,00	0,00			0,00			0,00	0,00	0,00	5954	163	3	
NOON	14/5/16	12:00	15899,70	64,70	0,00	35,43	0,14	0,00	16,83	0,07	0,00	35,58	16,90	5918	156	4	213,45
NOON	15/5/16	12:00	121220,60	905,10	0,00	234,70	1,87	0,00	111,48	0,89	0,00	236,57	112,37	5682	107	24	236,57
NOON	16/5/16	12:00	226141,60	923,80	19051,60	233,81	0,04	42,45	111,06	0,02	20,17	233,85	111,08	5448	87	24	233,85
NOON	17/5/16	12:00	327601,80	923,80	65284,40	226,10	0,00	103,03	107,40	0,00	48,94	226,10	107,40	5222	118	24	226,10
NOON	18/5/16	12:00	417075,40	923,80	65284,40	199,38	0,00	0,00	94,71	0,00	0,00	199,38	94,71	5023	91	23	208,05
NOON	19/5/16	12:00	516626,40	923,80	114889,40	221,84	0,00	110,54	105,37	0,00	52,51	221,84	105,37	4801	91	24	221,84
NOON	20/5/16	12:00	623478,70	923,80	160078,00	238,11	0,00	100,70	113,10	0,00	47,83	238,11	113,10	4563	95	24	238,11
NOON	21/5/16	12:00	720891,60	8770,40	160079,30	217,08	17,49	0,00	103,11	8,31	0,00	234,56	111,42	4328	112	23	244,76
NOON	22/5/16	12:00	821295,10	29599,40	160079,30	223,74	46,42	0,00	106,28	22,05	0,00	270,16	128,32	4058	90	24	270,16

TRABAJO FIN DE MÁSTER																	
INGENIERÍA MARINA																	

EOSP	23/5/16	08:00	901447,40	37594,70	160079,30	178,61	17,82	0,00	84,84	8,46	0,00	196,43	93,30	3861	92	20	235,72
------	---------	-------	-----------	----------	-----------	--------	-------	------	-------	------	------	--------	-------	------	----	----	--------

SEVILL-2016-03L

Laden

$$\delta = 421,6 \quad 0,475$$

	Date	Time	DFE	GCU	FV	DFE	GCU	FV	DFE	GCU	FV	BOG		ROB	CTs	Hours	BOG
			Acc	Acc	Acc	m³	m³	m³	FOE	FOE	FOE	m³	FOE	m³	mbar		m³/day
CTS	24/5/16	20:15												164621			
SOSP	25/5/16	11:30	0,00	0,00	0,00	27,00	72,00	0,00	12,83	34,20	0,00	99,00	47,03	164522	98	12	
NOON	25/5/16	11:52	110,30	0,00	0,00	0,26		0,00	0,12		0,00	0,26	0,12	164521	1011	1	10,46
NOON	26/5/16	11:50	102470,70	0,00	0,00	242,79		0,00	115,33		0,00	242,79	115,33	164279	116	24	242,79
NOON	27/5/16	11:50	210039,40	0,00	0,00	255,14		0,00	121,19		0,00	255,14	121,19	164023	105	24	255,14
NOON	28/5/16	11:50	317967,80	0,00	0,00	256,00		0,00	121,60		0,00	256,00	121,60	163767	124	24	256,00
NOON	29/5/16	11:50	421125,40	0,00	0,00	244,68		0,00	116,22		0,00	244,68	116,22	163523	125	25	234,89
NOON	30/5/16	11:50	539145,10	0,00	0,00	279,93		0,00	132,97		0,00	279,93	132,97	163243	115	24	279,93
NOON	31/5/16	11:50	646422,50	0,00	0,00	254,45		0,00	120,87		0,00	254,45	120,87	162988	115	24	254,45
NOON	1/6/16	11:50	753599,40	0,00	0,00	254,21		0,00	120,75		0,00	254,21	120,75	162734	117	24	254,21
NOON	2/6/16	11:50	865474,60	0,00	0,00	265,36		0,00	126,05		0,00	265,36	126,05	162469	149	25	254,74
NOON	3/6/16	11:50	973763,60	0,00	0,00	256,85		0,00	122,00		0,00	256,85	122,00	162212	144	24	256,85

TRABAJO FIN DE MASTER																	
INGENIERÍA MARINA																	

NOON	4/6/16	11:50	1055532,90	52855,00	0,00	193,95	125,37	0,00	92,13	59,55	0,00	319,32	151,68	161893	135	24	319,32
------	--------	-------	------------	----------	------	--------	--------	------	-------	-------	------	--------	--------	--------	-----	----	--------

SEVILL-2016-04B

Laden

$$\delta = 421,6 \quad 0,475$$

	Date	Time	DFE	GCU	FV	DFE	GCU	FV	DFE	GCU	FV	BOG		ROB	CTs	Hours	BOG
			Acc	Acc	Acc	m³	m³	m³	FOE	FOE	FOE	m³	FOE	m³	mbar		m³/day
CTS	5/6/16	23:37												3925			
SOSP	6/6/16	12:00	0,00	0,00	0,00	32,00	172,00	0,00	15,20	81,70	0,00	204,00	96,90	3721			
IOSP	7/6/16	07:30	35576,10	36370,00	0,00	84,38	86,27	0,00	40,08	40,98	0,00	170,65	81,06	3550	165	20	210,03
ROSP	7/6/16	09:00	37831,00	39848,50	0,00	5,35	8,25	0,00	2,54	3,92	0,00	13,60	6,46	3537	164	2	217,59
NOON	7/6/16	12:00	49097,70	39848,50	0,00	26,72	0,00	0,00	12,69	0,00	0,00	26,72	12,69	3510	159	3	213,79
NOON	8/6/16	12:00	145553,70	39848,50	0,00	228,79	0,00	0,00	108,67	0,00	0,00	228,79	108,67	3281	113	24	228,79
NOON	9/6/16	12:00	242031,20	42307,10	0,00	228,84	5,83	0,00	108,70	2,77	0,00	234,67	111,47	3047	91	24	234,67
NOON	10/6/16	12:00	332918,30	42307,10	0,00	215,58	0,00	0,00	102,40	0,00	0,00	215,58	102,40	2831	106	23	224,95
NOON	11/6/16	12:00	428256,80	42307,10	0,00	226,13	0,00	0,00	107,41	0,00	0,00	226,13	107,41	2605	117	24	226,13
NOON	12/6/16	12:00	523410,40	42307,10	0,00	225,70	0,00	0,00	107,21	0,00	0,00	225,70	107,21	2379	94	24	225,70

TRABAJO FIN DE MÁSTER																	
INGENIERÍA MARINA																	

NOON	13/6/16	12:00	618313,40	42307,10	0,00	225,10	0,00	0,00	106,92	0,00	0,00	225,10	106,92	2154	109	24	225,10
NOON	14/6/16	12:00	709365,10	42307,10	0,00	215,97	0,00	0,00	102,58	0,00	0,00	215,97	102,58	1938	83	23	225,36
NOON	15/6/16	12:00	803631,40	42307,10	0,00	223,59	0,00	0,00	106,21	0,00	0,00	223,59	106,21	1715	96	24	223,59
EOSP	15/6/16	12:00	839740,50	42307,10	0,00	85,65	0,00	0,00	40,68	0,00	0,00	85,65	40,68	1629	103	24	85,65

SEVILL-2016-04B

Laden

$$\delta = 421,6 \quad 0,475$$

	Date	Time	DFE	GCU	FV	DFE	GCU	FV	DFE	GCU	FV	BOG		ROB	CTs	Hours	BOG
			Acc	Acc	Acc	m³	m³	m³	FOE	FOE	FOE	m³	FOE	m³	mbar		m³/day
CTS	20/6/16	20:32												170990			
SOSP	21/6/16	12:00	0,00	0,00	0,00	30,00	60,00	0,00	14,25	28,50	0,00	90,00	42,75	170900			
NOON	22/6/16	12:00	58967,40	0,00		139,87			66,44			139,87	66,44	170761	143	24	139,87
NOON	23/6/16	12:00	128130,90	0,00		164,05			77,92			164,05	77,92	170597	157	24	164,05
NOON	24/6/16	12:00	229225,10	0,00		239,79			113,90			239,79	113,90	170357	136	24	239,79
NOON	25/6/16	12:00	330439,50	0,00		240,07			114,03			240,07	114,03	170117	158	24	240,07
NOON	26/6/16	12:00	398418,30	70181,00		161,24	166,46		76,59	79,07		327,70	155,66	169789	155	25	314,60
NOON	27/6/16	12:00	461452,90	141773,60		149,51	169,81		71,02	80,66		319,32	151,68	169470	155	24	319,32
NOON	28/6/16	12:00	524483,30	213430,60		149,50	169,96		71,01	80,73		319,47	151,75	169150	141	24	319,47

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

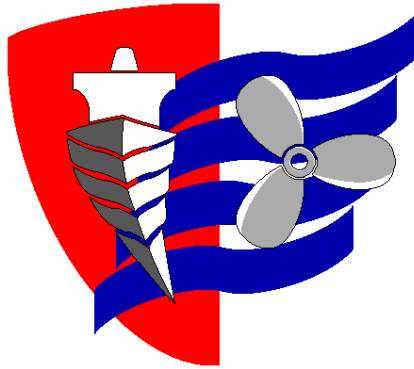
NOON	29/6/16	12:00	587272,30	284959,60		148,93	169,66		70,74	80,59		318,59	151,33	168832	140	24	318,59
NOON	30/6/16	12:00	649831,90	357388,00		148,39	171,79		70,48	81,60		320,18	152,09	168511	122	24	320,18

Tabla 20. Calculos en carga y lastre (Consumo de gas y cantidad de licuado)

Fuente: Fernando Rivera Diaz

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



CONCLUSIONES

4 CONCLUSIONES

El Boil-Off como se ha estudiado, representa un factor clave en los buques dedicados al transporte de LNG, es por ello que la determinación de la tasa de evaporación es un dato de vital importancia.

El procedimiento realizado para ser calculado se obtendrá en los primeros viajes en carga, para poder determinar una media fiable. La calidad de un tipo de membrana u otra, nos determinará la cantidad de Boil-Off generado. Debido al continuo aumento de los volúmenes de carga en los nuevos buques en construcción, la reducción de la tasa, donde en cantidades mayores transportadas, mayores volúmenes de Boil-Off surgen.

Es por ello, donde armadores y fletadores son los primeros interesados en el continuo estudio e innovación de sistemas de membranas que puedan reducir la tasa, y por consiguiente, el aumento del volumen total en las descargas.

El Heel retenido a bordo en los viajes en lastre suele usarse como Bunker para asegurar las condiciones de carga del Buque a la llegada. El uso de HFO para ajustar la cantidad de HEEL de modo que lleguemos fríos sería puesto en conocimiento del fletador durante el viaje, si fuera necesario.

Hubo un deseo por parte de los Capitanes para la creación de un texto standard de especificaciones por parte de la compañía. Este debería ser adjuntado al fletador cuando se aconseje una cantidad de Heel a bordo.

Hubo también una solicitud ya que los fletadores en ocasiones no respondían a las recomendaciones de Heel enviadas desde los barcos. Urgía mantener todo por escrito y limitar los acuerdos verbales en orden a mantener lo estipulado. Por lo tanto, entendemos que mejor en este caso será la comunicación por exceso que no por defecto. (en cuanto a las ordenes de Heel)

Otro factor en el que hay que seguir reflexionando trata sobre el impacto de los sistemas de contención (barreras) cuando se calienta y se enfría con mayor frecuencia.

El envejecimiento es el resultado del contenido de etano y LPG que se incrementa, reduciéndose el contenido de metano. Esto por supuesto afectará a la cantidad final de heel en los viajes en lastre para llegar frios.

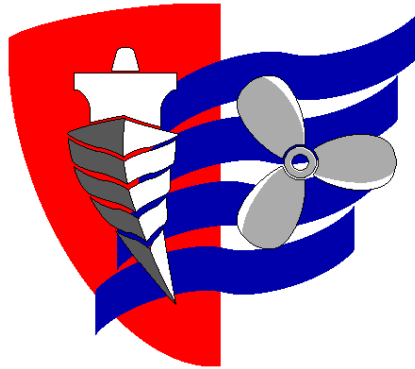
Se ha expuesto ya en este trabajo como prevenir o limitar la cantidad de Etano o LPG condesando en los tanques vacios durante los viajes en lastre. Una solución aceptada por todas las partes, consiste en mantener los tanques secos y calentados más allá del punto de ebullición del Etano y del LPG (-80 o más), con el fin de prevenir la licuefacion de estos últimos.

En cuanto a los datos objetivos que la experiencia en este tipo de buques nos ha aportado, han hecho que las conclusiones a las que van llegando las compañías, tengan en cuenta el impacto financiero de llevar más Heel a bordo del requerido puede representar perdidas sustanciales. En este punto parecen estar todos de acuerdo para evitarlo.

El ahorro de combustible es el objetivo último en el cálculo objeto de estudio. Hemos obtenido una tasa media diaria de evaporación de 0,155%, lo que significa, que con el buque cargado por completo, evaporaríamos una media de 240 m³ diarios de gas licuado. Teniendo en cuenta la diferencia de volúmenes, en gas se traduciría a unos 145,000 m³, siendo tratados a bordo como se ha estudiado en la parte final del trabajo.

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

5.1 LIBROS

Witherby Publishing Group, (2008). *“LNG Shipping Knowledge”*, Volumen 2. Equipment, Witherby Seamanship International Ltd.

Vaudolon, A. (2000). *“Liquefied Gases, Marine Transportation and Storage”*, Witherby & Co.

Gas Natural by Sea, The Developement of a new Technology Roger Ffooks, Witherby & Co, 1993.

Roger Ffooks. (1993). *“Natural Gas by Sea, The development of a New Technology”*. Witherby. London. Second Edition.

ICS (1995). *“Tanker Safety Guide, Liquefied Gas”*, International Chamber of Shipping.

G.I.I.G.N.L. (2001)“LNG Custody Transfer Handbook, 2nd Edition”,(Boil-Off rate Measurement, Membrane Containment Systems, Gaz Transport and Technigas, Noviembre 2009.)

GIIGNL, (2001). *“LNG Custody Transfer Handbook”*, 2nd Edition, (International Group of Liquefied Natural Gas Importers. Paris.)

McGuire and White, (2000). *“Liquefied Gas Handling Principles on Ships and in Terminals”*. SIGTTO, Witherby Publisher. England.

5.2 PÁGINAS WEB

- Reservas Mundiales de Gas Natural <http://image.slidesharedn.com/el.gas.natural> [consultada julio 2016]
- International Maritime Organization. www.imo.org. [consultada junio 2016]
- United Nations Economic Commission for Europe. www.unece.org. [consultada mayo 2016]
- Shell Global. www.shell.com. [consultada mayo 2016]
- LNG World News. www.lngworldnews.com. [consultada mayo 2016]
- Wartsila. <http://www.wartsila.com/> [consultado junio 2016]
- www.gazprom.com [consultada mayo 2016]
- www.liquefiednatgas.com [consultada mayo 2016]
- www.ssecoconsulting.com/exportacioacuten-lng-desde-melchorita.html [consultado junio 2016]

5.3 APUNTES VARIOS

- Measurement of the LNG delivered and the gas redelivered, GNL Italia.
- Proposed Method for Dealing with Boil-Off Gas on board LNG Carriers during Loaded Passage.
- Cargo Operation manual(Sevilla Knutsen 2-3) 2010

TRABAJO FIN DE MÁSTER
INGENIERÍA MARINA

- Machinery Operating Manual (Sevilla Knutsen) 2010
- Main Generator Engine Wartsila. Manual instrucciones Wartsila: Warstila 50DF. 2010
- Documento externo con número 1392 de la compañía GazTransport & Technigaz. Noviembre 2005
- KnutsenOas Heel Course. 7 Junio 2016

AVISO DE RESPONSABILIDAD:

Este documento es el resultado del Trabajo Fin de Máster de un alumno, siendo su autor responsable de su contenido.

Se trata por tanto de un trabajo académico que puede contener errores detectados por el tribunal y que pueden no haber sido corregidos por el autor en la presente edición.

Debido a dicha orientación académica no debe hacerse un uso profesional de su contenido.

Este tipo de trabajos, junto con su defensa, pueden haber obtenido una nota que oscila entre 5 y 10 puntos, por lo que la calidad y el número de errores que puedan contener difieren en gran medida entre unos trabajos y otros,

La Universidad de Cantabria, la Escuela Técnica Superior de Náutica, los miembros del Tribunal de Trabajos Fin de Máster así como el profesor/a director no son responsables del contenido último de este Trabajo.