

Planeamiento de la Logística de Petróleo Destilado (ndfo)

Traducido por

Abel OSORIO Espinoza

Capitán de corbeta, Armada de Chile

NOTA INICIAL



EL PRESENTE artículo es una traducción efectuada por el suscrito de un artículo publicado en la revista "Technical News" del Naval Ships Systems Command de agosto de 1972 y, aunque han transcurrido casi 6 años desde su publicación, el traductor estima que puede resultar de interés por los coeficientes empíricos expuestos.

En la traducción se efectuó la conversión de las unidades volumétricas y de consumo solamente, ya que en nuestra Armada se emplea el litro o M3 en la medición de cantidades de petróleo.

Tanto los calores de combustión (BTU/galón) como la gravedad (grados API a 60° F) se dejaron en unidades inglesas, ya que el Naval Ships Technical Manual (NSTM), de cuyas tablas se extraen estos datos, está en unidades inglesas y dichos datos se emplean, a lo largo del artículo, en el cálculo de coeficientes dimensionales.

El traductor estima que no habrá dificultades al emplear ambos sistemas a la vez, ya que la mayoría de los oficiales y personal están familiarizados con ellos.

Dada la antigüedad de algunos de nuestros buques y la probable carencia de tablas NWIP 11-20 en otros, el traductor estima que pueden lograrse resultados satisfactorios usando como datos base de consumo de NSFO los de las últimas pruebas de consumo disponibles en cada buque.

INTRODUCCION

En los buques recientemente transformados para quemar petróleo Navy Distillate (ND) es conveniente y puede resultar muy útil contar con una guía propia acerca de proyección del consumo, ya que permitirá a los ingenieros programar sus requerimientos de petróleo en largos desplazamientos, bajo diversas condiciones de mar, tiempo y condiciones de navegación.

Los requerimientos de petróleo para buques que queman NSFO normalmente han sido publicados o se tienen a mano datos standard. En la USN, el planeamiento logístico normal para buques que queman NSFO, se obtiene con datos sacados de tablas como las NWIP 11-20 ó NWIP 11-21. Es necesario hacer una introducción a estas dos guías, a partir de las cuales se planifica el consumo de petróleo.

La figura 1 muestra una tabla típica de la sección apropiada del NWIP 11-20. Debe tenerse en cuenta que USS "Flawless" es un buque ficticio (FS-01) y que los datos contenidos en la tabla tienen propósitos demostrativos solamente. El "Flawless" es un buque a vapor de propulsión convencional que recientemente ha sido transformado de

NSFO a ND, por lo cual la experiencia operacional usando ND es escasa.

Las operaciones que siguieron a la conversión ND se han efectuado en el área local de entrenamiento. No se han efectuado pruebas de todo poder, economía y otras.

FS-01 ("Flawless") Class NWIP 11-20

LITROS POR HORA

RPM	Medio	Límite Inferior	Límite Superior	Velocidad Media
o)	(2)	(3)	(4)	(5)
0	738	704	772	0
10	764	726	802	1,3
20	791	749	832	2,6
30	817	776	859	3,9
40	844	802	885	5,2
50	870	825	916	6,4
60	995	946	1044	7,4
70	1120	1063	1177	8,5
80	1245	1184	1305	9,3
90	1370	1302	1438	10,5
100	1495	1419	1570	11,5
110	1858	1764	1953	12,4
120	2221	2108	2335	13,3
130	2585	2456	2714	14,2
140	2948	2801	3096	15,1
150	3312	3145	4278	16,0
160	4020	3819	4220	17,4
170	4727	4489	4966	18,9
180	5435	5163	5708	20,4
190	6143	5837	6450	21,9
200	6851	6510	7192	23,4
210	7881	7487	8274	24,6
220	8873	8430	9315	25,9
230	9864	9372	10356	27,2
240	10856	10315	11397	28,5
250	11848	11257	12438	29,9
260	12953	12306	13222	31,2
270	14100	13396	14804	

Figura 1: Página típica de datos para planificación Logística NWIP 11-20.

FUENTE: NAVY DISTILLATE (ND) ADVISORY XXIII!
RAZONES DE CONSUMO DE PETROLEO
 MENSAJE NAVSHIPSYSKOM HQ 221935Z - OCT.-71

PETROLEO BASE	
NAVY SPECIAL FUEL OIL (NSFO)	MULTIPLICADOR 1,00
PETROLEOS DESTILADOS	
NAVY DISTILLATE (ND)	MULTIPLICADOR BAJO CONSUMO: 1,07 ALTO CONSUMO : 1,06
DIESEL FUEL MARINE (DFM)	MULTIPLICADOR BAJO CONSUMO: 1,12 ALTO CONSUMO : 1,09
AVIATION FUEL (JP-5)	MULTIPLICADOR BAJO CONSUMO: 1,14 ALTO CONSUMO : 1,11

Figura 2: Multiplicadores de consumo de petróleos destilados Standard.

Nota a la Fig. 2: Los factores de multiplicación están expresados en:

- Calor de combustión teórico volumétrico medio que se espera tenga el petróleo de acuerdo a la especificación militar apropiada.
- Datos de comportamiento real en calderas navales. El multiplicador de alto consumo corresponde a la razón de quema para una caldera a todo poder y el multiplicador de bajo consumo a un consumo medio de crucero, con eficiencia también media.

Debe tenerse en cuenta que el rango que encierran los multiplicadores entre los diferentes poderes de la caldera no experimenta una variación lineal; por lo tanto, no es apropiado efectuar interpolaciones. Si los multiplicadores se grafican en un sistema de coordenadas semi-logarítmicas de consumo de petróleo versus RPM, los multiplicadores provistos representan el incremento en consumo de petróleo en los extremos de Va de todo poder y todo poder, respectivamente.

Aunque no exacto, el multiplicador logarítmico así aplicado, aproxima muy cerca-

amente las diferencias en eficiencia de la caldera y contenido calórico volumétrico medio entre la operación con petróleo destilado y con petróleo residual.

DESARROLLO DE CALCULOS COMUNES

Para el cálculo de planeamiento logístico de buques de la clase "Flawless", se aplican los siguientes pasos:

- Obtenga el límite superior de consumo de NSFO de la tabla NWIP 11-20 correspondiente a la clase de buque y a las RPM medias planeadas para el desplazamiento continuo.
- Obtenga el factor multiplicador de utilización de petróleo de la Figura 2 para el tipo de petróleo a quemar (ND, DFM o JP-5), si es que se sabe. Si no se conoce el petróleo a usar, emplee el factor 1,14.
- Multiplique ambos números para obtener una estimación del petróleo requerido por hora.

Multiplicación total = (multiplicador del estado del mar) X (multiplicador de limpieza del casco) X (multiplicador por temperatura del agua de mar).

MULTIPLICADORES PARA CORRECCION DE LA VELOCIDAD DEL EJE

I. Corrección RPM eje por casco sucio

Tiempo última limpieza casco (50% enarenado o limpieza y pintura)	Factor Veloc. Eje	Multiplicador
(1)	(2)	(3)
0 — 6 Meses	1.000	1.000
7 — 12 Meses	0,995	1.005
13 — 18 Meses	0,990	1.010
19 — 24 Meses	0,985	1.015
25 — 30 Meses	0,980	1.020
31 — 36 Meses	0,970	1.031
37 — 42 Meses	0,960	1.042
43 — 48 Meses	0,950	1.053
49 — Meses	0,940	1.064

* El factor de velocidad del eje, columna (2), es la razón entre la velocidad real y la de diseño para condiciones medias de suciedad de casco hélice de acuerdo a datos acumulados en las navegaciones de prueba.

II. Corrección RPM eje por Temperatura de Inyección de agua de mar.

Temperatura Inyección à"H	Factor de Corrección	Multiplicador
(1)	(2)	(3)
50	1,0039	0,996
55	1,0021	0,998
60	1,0000	1,000
65	0,9971	1,003
70	0,9927	1,007
75	0,9848	1,015
80	0,9775	1,023
85	0,9700	1,031

III. Corrección RPM eje por estado del mar.

Escala de Viento Beaufort	Velocidad Viento	Descripción	Multiplicador
€ÁÁÁÁÁÁH HÁÁÁÁÁÁÎ ÍÁÁÁÁÁÁJ JÁÁÁÁÁÁFG FGÁÁÁÁÉ	€ÁÁÁÁÁÁFGÁ}á•È FHÁÁÁÁÁÁHFÁ}á•È HGÁÁÁÁÁÁ 54 nds. ÍÁÁÁÁÁÁÍÁ}á•È sobre 75 nds.	Û V A N D A Ü D	1,000 1,050 1,700 1,150 1,250

Figura 3: Factores de Corrección de Velocidad.

EJEMPLO DE USO DE LAS TABLAS DE CORRECCION DE VELOCIDAD

Asumiendo:
 Mar esperado, según Beaufort: 3-6
 Multiplicador por estado del mar= 1,050
 Asumiendo:
 Buque fuera de dique 5 meses, pintura
 Multiplicador por suciedad casco = 1,000
 Asumiendo:
 Temperatura de mar esperada: 70° F
 Multiplicador por temperatura de mar = 1,007

Por lo tanto

$$MT = (1,050) \times (1,000) \times 0 / 007 = 1,057$$

$$(140 \text{ RPM}) \times (1/057) = 148 \text{ RPM}$$

Para que el "Flawless" navegue a la velocidad media correspondiente a 140 RPM de acuerdo a sus pruebas originales, la velocidad del eje en la actualidad, debe ser 148 RPM.

Un método menos riguroso de calcular los requerimientos de petróleo es aplicar el multiplicador de la Figura 2 a los datos medios obtenidos de NWIP 11-21 (Ver figura 3). Se notará que el dato en la Figura 1 se obtiene por métodos estadísticos y que el valor de consumo medio para una velocidad dada de la hélice, es el promedio estadístico de la distribución para una cantidad de pruebas efectuadas por buques de la clase.

El valor medio de la Figura 3, no es necesariamente el mismo que el valor medio de la Figura 1.

TABLA 1 - 3 CONSUMO DE PETROLEO (LTS/H.)

TIPO DE BUQUE VELOCIDAD MEDIA NDS										
	0	2	4	6	8	12	14	16	18	20
FS-01 "Flawless"	729	799	832	863	1059	1305	2535	3326	4427	5259

TABLA 2 - 1 0 CAPACIDAD DE COMBUSTIBLE DE BUQUES (M3)

TIPO DE BUQUE	CAPACIDAD DE COMBUSTIBLE			
	NSFO	DIESEL	JP-5	AVGAS
FB-01 "Flawless"	794,54	31		

Figura 4: Página de datos de Planeamiento Logístico (NWIP 11-20).

EJEMPLO 2: CALCULO ALTERNO DE CONSUMO DE PETROLEO

Asumiendo:

- (A) SOA media = 15 nudos
- (B) La velocidad del eje para el SOA especificado, debe ser 148 RPM de acuerdo con los días fuera de dique, estado de limpieza del casco y hélice, etc.
- (C) Distancia a navegar: 2.000 mlls.

Duración de la navegación:

$$\frac{2.000 \text{ mlls.}}{15 \text{ nds.}} = 133 \text{ Vhhs.}$$

Velocidad necesaria del eje (Columnas (1) y (5), Figura 1.

140 RPM	15,1 nds.
10 RPM	0,9 nds.
15,1 nds.	
0,7 nds.	8/10 X 9= 0,72
Para 148 RPM 15,8 nds.	

Consumo de NSFO

(Dato NWIP 11-21, Figura 4)

14,0	Y
14,0	3246
Para 15,8 nds. 3246 lt/h. de NSFO.	

Consumo de ND

Cantidad total necesaria: 3701 X 133,4 — 493.713 Lts. Luego, la cantidad de combustible necesario para efectuar las navegaciones es 494 M3 de petróleo destilado.

El Ejemplo 2 muestra el cálculo efectuado usando datos de la Figura 3 para la navegación del "Flawless". Este caso no permite la variación del 5% que se incorpora al usar las fuentes superiores de consumo según NWIP 11-21. Al sumar 5% a la respuesta del Ejemplo 3 se obtienen 516.000 lts/hr., o sea, más cerca del valor obtenido en el primer ejemplo.

Más específicamente, el consumo de petróleo está relacionado con los cambios de velocidad y el tiempo que se navega. En los ejemplos dados, se ha asumido una velocidad continua para todo el desplazamiento. Se asumió un SOA de 15 nudos, se efectuó la corrección a la velocidad del eje teniendo en cuenta el estado del casco y la diferencia de temperatura del agua de mar entre la esperada durante el desplazamiento y la de diseño para la admisión del condensador. También se pueden efectuar otras correcciones o refinamientos para las condiciones de mar y viento y, como se verá más tarde, para el contenido calórico volumétrico del petróleo empleado. Por ahora, consideremos que el "Flawless" ha rellenado desde un petrolero y estudiemos la navegación.

De la figura 4 se desprende que la capacidad de petróleo destinado a propulsión es de 794,64 M3 y el petróleo destinado a los generadores de emergencia y embarcaciones (Diesel) es 31 M3. Si consideramos que el 95% de este petróleo se puede quemar, el "Flawless" dispone de 754,9 M3 de petróleo para ser usado en las calderas, por lo que se puede esperar que el buque efectúe el desplazamiento con seguridad y

cluido en lo anterior.

9>9AD@C'B, 3: CALCULO DE CONSUMO DE PETROLEO PARA DIVERSAS VELOCIDADES

Asumiendo:

- (A) SOA medio 15 nds.
- (B) La velocidad del eje debe ser suficiente para un SOA de 12 nds., durante las primeras 1.225 millas y un SOA de 25 nds., para las restantes 775 millas con el objeto de alcanzar el SOA promedio de 15 nds.

Resulta posible someter a análisis el petróleo existente a bordo para determinar aproximadamente la energía calórica liberada en el proceso de combustión. Al entrar en la tabla de datos técnicos C-5 del Capítulo 9400 del "Buship Manual" (actualmente "Navship Tech Manual) con la gravedad API del petróleo existente a bordo, se obtendrá un valor fidedigno del valor calorífico volumétrico. El valor standard de calor de combustión del NSFO para el petróleo medio, de acuerdo con las especificaciones, es 140800 BTU/galón a presión constante. Este valor se obtiene de la Tabla para 18° API a 60° F. La especificación del Navy Dis-

La mezcla de petróleos en las diversas instalaciones petroleras y a bordo del buque que lo va a emplear, hacen aún más complicada para el ingeniero la determinación de las características caloríficas exactas del petróleo recibido.

Los multiplicadores de la figura 2 se derivan del combustible promedio proporcionado, de acuerdo a las especificaciones e incluyen eficiencia relativa de conversión en la caldera.

Los pasos a seguir en la determinación de multiplicadores más exactos para una carga de petróleo, son los siguientes:

1. —Determine la gravedad API y corríjala a API standard a 60° F.
2. —Entre en la tabla C-5 del capítulo 9400 NSTM con el valor API a 60° F y lea el calor de combustión neto a presión constante en BTU/galón.
3. —El multiplicador para ese petróleo resulta de dividir por 140800 el valor calorífico sacado de la tabla, según el punto anterior. ⁴
4. —Aplique el multiplicador calculado a la cantidad de petróleo NSFO obtenido de NWIP 11-20 ó el promedio obtenido de NWIP 11-21 para efectuar los cálculos en los ejemplos anteriores.

Se notará que las respuestas obtenidas anteriormente corresponden a una carga de petróleo cuya gravedad es 46,2 API a 60° Fahrenheit.

Si consideramos un punto de vista diferente: El de la duración de una cantidad determinada de combustible (nuevamente se usa el buque clase "Flawleess") cuyo combustible posible de quemar sea el 95% y la gravedad API de cada estanque o grupo de estanques es conocida, ¿cuál será el límite de operación del buque?

El ejemplo 4 es una muestra de solución para este tipo de problema de consumo inverso. Al estudiar el ejemplo 4, puede resultar conveniente fijar primeramente las condiciones que forzarían a efectuar este tipo de cálculo.

Ayudará a visualizar las circunstancias el asumir que un buque ("Caleuche", por ejemplo) ha estado operando normalmente por un cierto número de días y ha consumido aproximadamente el 60% de combustible. El comandante y el piloto han estado observando la formación de una tormenta tropical al sur del track del buque. La tormenta desarrolla vientos de fuerza huracanada. Pocos minutos antes que el piloto haga su recomendación del nuevo rumbo que pondría al "Caleuche" fuera de la zona de peligro, aumentando la distancia a navegar entre 600 y 700 millas; comunicaciones intercepta una señal solicitando ayuda. El mensaje indica que hay un buque de pasajeros, aproximadamente a 400 millas por la proa a un rumbo que permite al "Caleuche" llegar poco antes que la tormenta. El buque de pasajeros corre el peligro de quebrarse debido a explosiones e incendios que ha experimentado.

La pregunta urgente es: ¿Puede el "Caleuche" aumentar su velocidad al máximo, interceptar el buque en peligro y disponer todavía de un margen de seguridad que le permita navegar hasta un punto seguro alejado 200 millas de su track original? La operación de búsqueda y ayuda agrega 600 millas a velocidades que llegan hasta "flank".

La respuesta debe proveerla el ingeniero, efectuando el cálculo de duración que es el problema inverso al del consumo de petróleo ya presentado. Debido a los factores desconocidos de tiempo a distintas velocidades, tiempo atmosférico y condiciones de mar por la proa, se requiere una considera-

ble flexibilidad en la toma de decisiones. El "Oil King" ha proporcionado al ingeniero los datos de registro de petróleo que se emplearán en el ejemplo.

Se aplican los siguientes pasos:

1. —Determine los multiplicadores para cada estanque o grupo de estanques que tengan similar gravedad API.
2. —Divida la cantidad de ND quemable por el multiplicador de consumo de NSFO.
3. —La cantidad de petróleo corregida que se obtiene en esta forma, es el dato base de petróleo o cantidad de NSFO equivalente (el NSFO tiene calor de combustión a presión constante de 140800 BTU/galón).
4. —Usando las correcciones apropiadas para las condiciones de viento y mar, tem-

peratura de la inyección a los condensadores y estado de limpieza del casco (días fuera de dique), proceda a determinar las necesidades de petróleo y duración del combustible usando los datos con una apreciación a ojo marineramente de los factores de velocidad y tiempo a diversas velocidades y tiempo y velocidad medios.

9>9AD@C' (. ' 75@7 I @C' 9B' 65G9' 5' 7CA6 I G! H=6@9' 8-GDCB=6@9

Asumiendo:

- (A) Petróleo existente según detalle a continuación.
- (B) Velocidad media a navegar a ojo marineramente: 200 RPM.

Estanque	Petróleo	GRAV (°API a 60° F)
Grupo 1	80.599 lts.	31,4
Grupo 2	71.896 lts.	43.0
Grupo 3	54.868 lts	15.0
Grupo 4	31.936 lts.	46.0

Multiplicadores para el petróleo

(Grupo 1)

Interpolación 31 API 132500 BTU/galón
32 API 131900 BTU/galón

Diferencia + 1 API - 600 BTU/galón

Luego

354722" 53.6/53.2
ô "462" ô 822"Z////////// ?"462"DVW· I cñ0"c
354482" 53.2/53.2" 53.6"ÁCRK

Multiplicador para Grupo 1

140800
----- = 1,0585 1,059
132260

(Grupo 2)

Dado: 43,0 °API 127200 BTU/galón.

Multiplicador para el Grupo 2

140800
----- = 1,1069 1,107
127200

(Grupo 3)

Dado: 15,0 API 142800 BTU/galón.

Multiplicador para el Grupo 3

140800
----- = 0,98599 0,986
142800

(Grupo 4)

Dado: 46,0 API 123700 BTU/galón.

Multiplicador para el Grupo 3

140800
----- = 1,1382 1,139
123700

Existencia de Combustible Equivalente a NSFO a 60 °F

Estanques Grupo 1

805599 lt.
----- = 76108 lts.
1,059

Estanques Grupo 2

71896 lt.
----- = 64946lts.
1,107

Estanques Grupo 3

54868 lt.
----- = 55647 lts.
0,986

Estanques Grupo 4

31936 lt.
.....= 28063lts.
1,138

Existencia total equivalente a NSFO = 224769 lts.

Duración del Combustible:

Con el buque navegando a 200 RPM, el consumo será de 71896 lts/h. usando NSFO como base y tomando los datos Fig. 1.

Luego la duración será:

224769
----- = 31,25.....31,3 hrs.
71896

Se ha asumido un SOA medio de 20 nds. debido a las condiciones de viento y mar; por lo tanto, el buque será capaz de navegar 625' en ese tiempo. De acuerdo con la apreciación del navegante y los cálculos de duración el ingeniero, a la recalada al puerto de alternativa, el buque estará consumiendo sus reservas de petróleo Diesel para los generadores de emergencia.

También se puede desarrollar a bordo una curva aproximada de consumo de petróleo versus velocidad del eje, en la siguiente forma:

FE . Òcc:æä * æÄá^|ÁÞ Y QÚÁFÁFÈGÈÁ| [•ÁÁâæc [•ÁÁâ^Á
|[•Á|ð { äc^Á•~] ^!á [!^•Áâ^Á& [] •~ { [^^ } Á|äÈ
tros por hora y plotéelos en papel cuadriculado versus la velocidad del eje en RPM.

2.—Trace una curva pareja a lo largo de los puntos ploteados.

HÈ . T ~ |cä] |ä ~ ^ÁÁ^|ÁÁ|ð { äc^ÁÁ•~] ^!á [!ÁÁâ^ÁÁ& [] •~ È
mo de NSFO a velocidad mínima (10 RPM) por el multiplicador de bajo consumo para ND (1,07) de la figura 2 y plotee un punto.

4. . T ~ |cä] |ä ~ ^ÁÁ^|ÁÁ|ð { äc^ÁÁ•~] ^!á [!ÁÁâ^ÁÁ& [] •~ È
mo de NSFO para todo poder (por ejemplo) [Á ÁG Í € Á Ü Ú T Á] æ:æÄ |æÄ & |æ•^Á ÅØ|æ , |^••ÄÈÁ
] [!ÁÁ^|ÁÁ { ~ |cä] |ä&æä [!ÁÁâ^ÁÁæ|c [ÁÁ& [] •~ { [ÁÁ^

ND (1,06) de la figura 2 y plotee otro punto.

- 5. —Dibuje una curva pareja cuya forma se aproxime a la curva de datos del NSFO entre los dos puntos. La curva dibujada de esta manera tendrá una aproximación cercana a los requerimientos de petróleo usando especificación para petróleo ND.
- 6. —Repita el cálculo para DFM (Diesel Fuel Marine). Multiplicador de bajo consumo 1,12; multiplicador de alto consumo aproximado para un petróleo Diesel de especificaciones término medio.

000WÜCE1045

7.—Repita el cálculo para JP-5 (Multiplicador de bajo consumo 1,14, multiplicador de alto consumo 1,11) para establecer una curva de consumo aproximado para un JP-5 de especificaciones término medio.

La figura 5 es un ploteo de las curvas de consumo de petróleo para la clase "Flawless", derivada de los pasos descritos anteriormente. Tales curvas serían adecuadas

fiesta que se publiquen las nuevas curvas de NWIP.

Si sólo se necesitan datos aproximados de consumo, bastará con usar las curvas aproximadas descritas en la Figura 5. En caso que se requieran datos de consumo más exactos, debe calcularse cada problema tomando en cuenta las diversas variables participantes, por lo que será útil emplear alguno de los métodos descritos en los Ejemplos 1 al 4.