



**CONAMA10**  
CONGRESO NACIONAL  
DEL MEDIO AMBIENTE

COMUNICACIÓN TÉCNICA

## **Suministro de agua en grandes buques tanque**

Autor: Antonio Salamanca Jiménez

Institución: Grupo MADES (Medio ambiente y desarrollo sostenible). Colegio  
Oficial de Ingenieros Navales y Oceánicos.

e-mail: [salamanc@cdf.udc.es](mailto:salamanc@cdf.udc.es)

Otros Autores: Primitivo B. González López. Grupo MADES (Medio ambiente y  
desarrollo sostenible). Colegio Oficial de Ingenieros Navales y Oceánicos.

## RESUMEN

La escasez de agua en muchas áreas, nuestro país no es una excepción, se presenta en casos de forma estacional, aunque con larga duración. En otros, de forma permanente, y tanto en unos como en otros, el estiaje suele ocurrir en áreas insulares o costeras, que suelen ser más pobladas y con acumulación de industrias y turismo y, por ello, con mayor demanda de agua.

En otros lugares existen recursos acuíferos sobrantes de buena calidad que vierten al mar en cantidad considerable y regular, cuya carga en grandes buques tanque, para suministro mediante su transporte masivo a zonas deficitarias, puede realizarse mediante infraestructuras que, concebidas ex profeso, implican un coste unitario realmente bajo.

Cargada el agua en los buques, el coste del transporte podría parecer a primera vista el principal elemento limitativo de la viabilidad de la operación. Sin embargo, mediante programas desarrollados para el trabajo que aquí se presenta, se demuestra que, escogiendo alternativas adecuadas de tamaño y características de los buques, para ciertas distancias entre la carga y el destino del agua, se obtienen costes muy competitivos con la otra forma de suministro que sería la desalación.

Y lo que es más importante: el proceso es mucho más respetuoso con el medio ambiente.

## ABSTRACT

Water scarcity in many places, our country is not an exception, is sometimes seasonal, although during long periods. In almost all the cases, the water scarcity occurs on islands and along coastal areas, that are usually the most crowded and with a big quantity of industries and tourism, therefore with a big demand of fresh and drinking water.

In other places there are important amounts of surplus fresh water resources of a very good quality that drop into the sea, whose loading on big tankers can be made by means of infrastructures that, specifically designed for the purpose, would really mean a low operational loading cost.

Once the water is loaded on the ships, the transportation cost itself, at a first instant, might mean the most limitative factor for the feasibility of the operation. However, making use of programs tailored for this job, it is shown that, selecting the appropriate alternatives for the size and characteristics of the ships, and for certain water load-discharge distances, it is possible to get competitive costs compared with other ways of supply like desalination. There is something much more important to be considered: the process is much more environmentally friend.

**Palabras Clave:** Agua, medio ambiente, energía, sostenible, ríos, almacenaje, transporte buques.

## 1.- INTRODUCCIÓN Y PLANTEAMIENTO

La irregular distribución natural de los recursos de agua dulce en zonas densamente pobladas, gran parte de ellas en la costa y en áreas cercanas, es bien conocida y ostensible hoy en día. La escasez de agua es una circunstancia crónica, en muchos casos no estacional sino permanente, no sólo en zonas a las que es imprescindible dotar de un mínimo umbral de recursos para poder construir una sociedad aceptablemente digna, sino en otras en las que, disponiendo de abundantes recursos económicos, se pretende crear sociedades modernas e industrializadas. El problema se presenta también en otras áreas dentro del marco de los países más desarrollados, creando graves problemas de abastecimiento para el consumo humano y para el mantenimiento de actividades tradicionales así como para el establecimiento de otras nuevas, ya sean industriales, de explotación turística y otros servicios. Estas deficiencias ocurren a menudo, bien porque las necesidades incrementadas por el desarrollo ya no pueden ser cubiertas por los recursos hídricos locales o bien porque el capricho meteorológico impone serias restricciones de larga duración. De estas últimas se pueden citar varios casos recientes sin tener que salir de España. Y los problemas aumentan y se agravan año tras año, en muchos casos como consecuencia de la desertización y el cambio climático, a los que ya no podemos escapar sino hacerles frente.

La solución mediante plantas desaladoras requiere importantes inversiones, tiempo para su puesta en marcha y consumo de energía y, aunque los últimos desarrollos de las plantas de ósmosis inversa, por citar un ejemplo, han reducido notablemente los consumos energéticos, otros costes que conllevan comportan un aspecto gravoso nada insignificante.

*Es conveniente por tanto recurrir también a otras soluciones al alcance de la mano, utilizando las propias alternativas y recursos que la naturaleza ofrece y las tecnologías y medios disponibles de los que, con los desarrollos y adaptaciones necesarias, se obtengan resultados económicos tan buenos sino mejores, e incluso con ventajas, entre ellas las ecológicas, con respecto a sistemas que, aparte de mayor consumo energético, obligan a renovar, en casos de forma total, lo que ya se dispone en gran parte.*

Una solución es el transporte masivo del líquido elemento desde otras zonas, como se ha hecho habitualmente mediante acueductos, canales, etc. tal como ha sido apuntado por el director general de la UNESCO, que solicitaba que los países europeos trataran de estudiar la posibilidad de conducción del agua excedentaria en los mismos hacia las zonas deficitarias del Mediterráneo. A la propuesta de esta solución se llegaba también tras estudios realizados en Estados Unidos sobre los recursos hídricos, en que se llegaba a la conclusión de que para las diversas naciones en su conjunto existe en principio suficiente suministro de agua, por lo menos para algunas décadas, pero sin embargo,

para ciertas regiones, se prevén escaseces que sólo puede ser evitadas mediante transferencias de otras regiones con excedente de agua.



**Figura 1: mapa de la zona del Mediterraneo**

En los puntos que siguen se realiza el cálculo del coste del transporte masivo del líquido elemento por medio de buques cisterna, que pueden ser aljibes monocasco, ya que en caso de derrame de la carga no implican los riesgos tan graves de contaminación que existen con los buques petroleros. Para el agua se utilizarían buques cisterna especialmente diseñados o transformados para el transporte exclusivo de agua dulce que, a fin de reducir los coste unitarios por razón de escala, conviene que sean de gran tamaño.

La alternativa de transporte de agua dulce de forma competitiva en grandes buques cisterna se apoya en varias razones:

a) por una parte, la construcción de buques de gran tamaño ya no presenta grandes dificultades dada la experiencia alcanzada con la construcción de algunos buques petroleros de tamaños hasta del orden de 600.000 TPM, disponiéndose actualmente de instalaciones (diques y gradas de construcción) que permiten la

fabricación de grandes cascos y que no se emplean actualmente para la construcción de barcos de tales dimensiones.

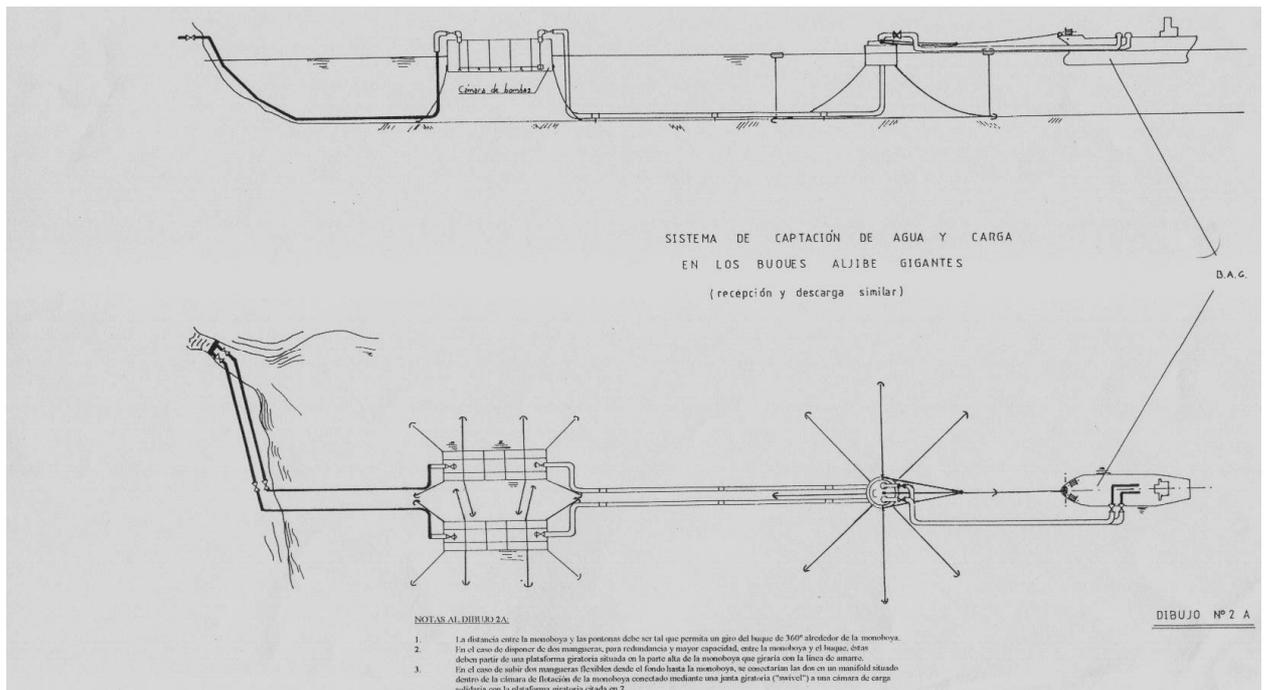
b) por otra parte, se han incrementado considerablemente las potencias unitarias de los motores de combustión interna y se han reducido notablemente sus consumos específico, que son bastante menores que los de otras máquinas, lo cual hace recomendable su uso para la propulsión y generación de energía en los grandes buques cisterna que aquí se proponen;

c) las formas de los buques y su disposición propulsiva han experimentado también una notable mejora, así como otros factores que afectan a la resistencia al avance, como es la rugosidad del casco, merced al desarrollo de nuevos esquemas de pintado;

d) el calado de unidades tan grandes significaría una dificultad seria si no se prevén lugares de carga de agua dulce con las características exigidas, así como para la descarga. En todo caso, la instalación de un terminal con monoboya, campo de boyas u otra disposición adecuada resolvería el problema, como se está haciendo para la carga y la descarga de crudo, pudiendo disponerse si es necesario un “pipeline” submarino de unas pocas millas desde tierra hasta el terminal de carga o desde el de descarga hasta tierra.

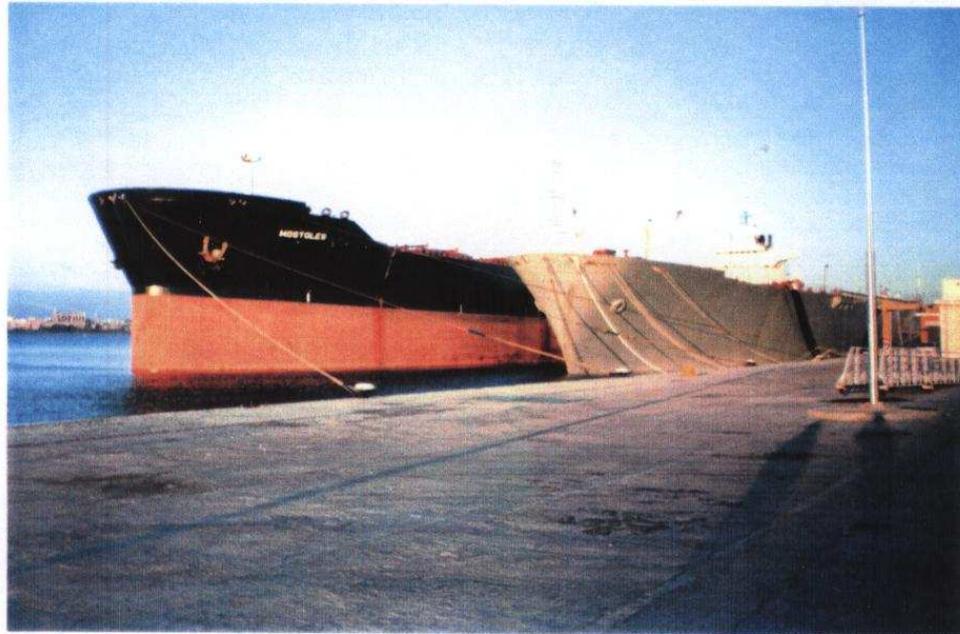
e) los terminales de carga pueden ser alimentados desde un embalse existente en tierra o desde uno o varios tanques flotantes, tal como se observa en el dibujo adjunto, en los cuales el agua dulce se va almacenando paulatinamente entre cada dos operaciones consecutivas de carga en los buques. Las operaciones de carga son rápidas, con una duración en torno a 24 horas, lo cual obliga a que el agua tenga que estar almacenada para ser cargada al arribar el buque. De esta manera, si se dispone de un tanque flotante almacén, se independiza la operación de carga del caudal que podría estar discurriendo, por ejemplo, a través de un turbina hidroeléctrica, que puede no ser suficiente para la carga del buque en 24 horas. Para realizar la misión de estos tanques almacén pueden utilizarse cascos de petroleros monocasco que quedan obsoletos y cuya retirada del servicio se ha acelerado obligatoriamente, de acuerdo con las nuevas directivas de la UE y el MARPOL como consecuencia de los accidente del Erika y del Prestige; una vez que sean limpiados y tratados superficialmente de forma adecuada. Igualmente, se puede realizar de forma parecida para el terminal de descarga que, en lugar de hacerla a un embalse en tierra, puede hacerse por medio de las propias bombas del buque a un tanque almacén de recepción, desde donde después se va bombeando

paulatinamente a tierra según las necesidades del circuito de consumo. En ambos casos se dispondría una monoboya CALM o un sistema SALM para amarre del buque.



**Figura 2: sistema de captación y carga de agua, descarga similar**

Dependiendo de las circunstancias locales, la instalación puede ser mucho más sencilla, abaratando los costes. Ver por ejemplo, en las fotos adjuntas, el dispositivo empleado en el puerto de Palma de Mallorca, adonde se estuvo transportando agua dulce desde Tarragona a lo largo de alrededor de 3 años en el buque petrolero Móstoles, después de ser adaptado para este servicio. En la foto se distingue al petrolero Móstoles abarloado a una cisterna flotante que, a propósito, era el casco de un buque gasero transformado para almacenamiento del agua, al que el Móstoles descargaba el agua dulce después de rendir viaje desde Tarragona.



**Figura 3: buque Mostotes descargando agua dulce a un almacén flotante en Palma de Mallorca**

Pues bien, teniendo en cuenta lo anterior, se procede al estudio del coste del transporte de agua dulce, incluida la descarga, en unidades de tamaño comprendido entre 100.000 y 500.000, TPM extrapolándose sólo a modo de hipótesis hasta 800.000 TPM, para distancias entre 20 y digamos, 2000 millas, entre las que se encuentran las posibilidades de suministro, por ejemplo entre las áreas costeras del Sur de Europa y las de la costa Norte de África, extrapolándose para distancias mayores, hasta 4000 millas. Se utilizan como referencia los datos de potencia-velocidad, corroborados en pruebas de mar así como datos reales de pesos y otros de varios de los buques de mayor porte construidos en España, así como en otros países y datos publicados de canales de experiencia para series de grandes buques.

Distancias Millas	origen	destino	Distancias Millas	origen	destino
17	Algeciras	Ceuta	440	Vigo	Cadiz
52	Tarragona	Barcelona	466	Tarragona	Tunez
60	Algeciras	Malaga	500	A Coruña	Ceuta
90	Tarragona	Castellón	536	Lisboa	Cartagena
120	Huelva	Ceuta	550	Vigo	Malaga
127	Tarragona	Plama de mall.	700	Huelva	Las Palmas
140	Tarragona	Ibiza	700	Lisboa	Las Palmas
180	Huelva	Malaga	709	Lisboa	Castellón
192	Tarragona	Alicante	850	Huelva	Tunez
250	Tarragona	Cartagena	862	Oporto	Castellón
311	Marsella	Castellón	900	Vigo	Castellón
330	Tarragona	Algelia	900	Vigo	Las Palmas
339	Tarragona	Almeria	900	Vigo	Valencia

**Figura 4:distancias entre puertos**

La intención fue englobar todos los aspectos y parámetros relevantes, incluidos los básicos de diseño, en una ecuación, por compleja que fuera, o conjunto de ecuaciones relacionadas, con objeto de poder realizar el análisis matemático de la influencia de uno u otro determinante. Se incluyen los diversos componentes del coste de explotación, habiéndose utilizado datos de los últimos reportajes publicados con relación a precios internacionales de mercado de buques.

En función de las variables determinantes: distancia entre la estación de carga y la de descarga, que es en principio la variable principal, y de otras que se pueden seleccionar como es el tamaño y la velocidad del buque y, hasta cierto punto, el número de tripulantes, y de otras que no son tan fáciles de controlar a priori, como son las

condiciones de amortización, el interés del dinero y el precio del combustible, se obtiene la expresión que da el coste del transporte unitario por m<sup>3</sup> de agua; incluyendo también como coste operativo el de la descarga desde los buques a los tanques o depósitos de la estación receptora,

Con ello se crea un modelo matemático bastante minucioso que permite la simulación de un gran número de escenarios y la presentación numérica y gráfica de los resultados a fin de poder determinar hasta que distancias puede ser económicamente interesante transportar el agua dulce en buques, dependiendo de su tamaño y velocidad y, a su vez, poder seleccionar para estas variables lo que más convenga en cada caso. Las relaciones de dimensiones principales y las formas de los buques serían similares a las de los buques tomados como base del estudio, debiendo reajustarse en función de otros factores determinantes como son el calado más conveniente en cada caso. La ecuación permite estudiar otras alternativas como la de utilización de buques de segunda mano.

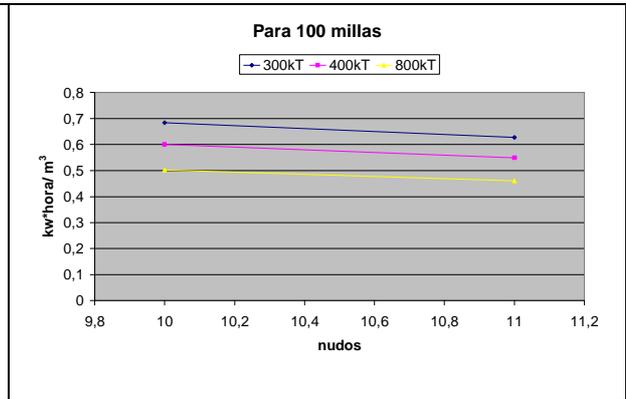
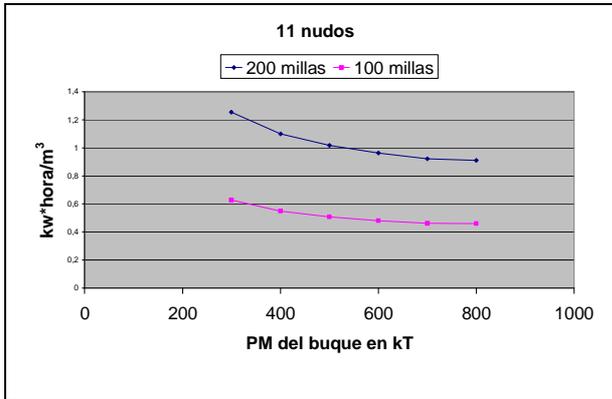
Se deducen y justifican aparte algoritmos tales como las expresiones de las que se obtiene la potencia consumida en función de la velocidad, la velocidad normalmente utilizada en los viaje en lastre a partir de la velocidad del buque a plena carga, la estimación del coste de buques nuevos especialmente diseñados, los costes de mantenimiento, costes de varada periódica, gastos correspondientes de puerto en la carga y la descarga, etc., obtenidos de los datos de buques construidos y otros disponibles, a fin de poderlos introducir en la ecuación del coste unitario del transporte y descarga del metro cúbico de agua dulce, que equivale a un flete F.I.L.O. (Free In, Liner Out).

**(Coste trpte. + descarga) /m<sup>3</sup> agua = función (dist. CAR - DES, P.M., velocidad)**

El método permite el cálculo del coste unitario del transporte con un grado de aproximación aceptablemente fiable para tamaños de buque en un amplio entorno por debajo y por encima de las 500.000 TPM y rango de velocidades en servicio a plena carga entre 10 y 18 nudos, permitiendo ensayar numerosas combinaciones.

El modelo permite también el análisis y representación gráfica de resultados que pueden ser utilizados para la toma de decisiones comparativas, por ejemplo:

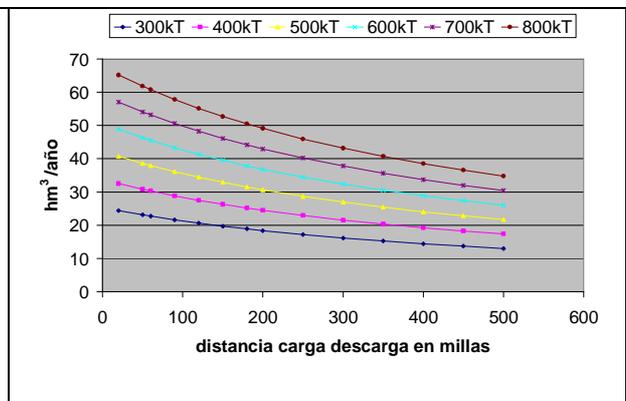
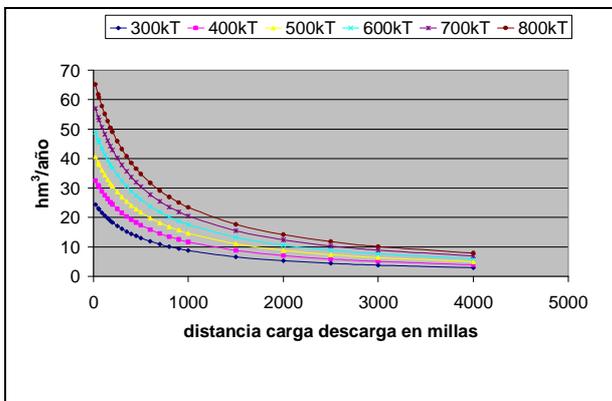
el consumo equivalente en kW\*hora o en Kg. de F.O para producir un metro cúbico de agua dulce



**Figura 5 . Consumo energetico equivalente del transporte en kw\*hora / m<sup>3</sup>**

**Figura 6. Id.**

a) la cantidad de agua dulce que se transportaría por buque y año.



**Figura 7. Agua transportada por buque y año en hm<sup>3</sup>**  
**Velocidad buque plena carga 10 nudos**

**Figura 8. Id.**

Además se pueden calcular los consumos equivalentes en kg. de F.O./m<sup>3</sup> de agua suministrada, inversión equivalente por m<sup>3</sup> cúbico de agua por día, etc., valores que permiten la comparación de alternativas diversas.

## **2. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS Y OPERACIONALES DE LOS BUQUES PARA EL TRANSPORTE DE AGUA DULCE**

Buques tanque expresamente concebidos o transformados para transportar agua dulce. Casco sencillo. Cámara de máquinas a popa. Si los buques son nuevos, en dicha cámara se instalarán en principio las bombas de carga, no teniendo porque disponer cámara de bombas separada. También pueden utilizarse bombas de pozo profundo situadas en los tanques. Cántara de tanques de carga de agua dulce y de lastre a proa de la cámara de máquinas, además de en los piques.- Dada la naturaleza de la carga a transportar, el criterio para dimensionar y disponer los tanques es muy sencillo, con carga de agua dulce en los tanques totalmente llenos, digamos al 98%.

Los piques y otros espacios espacios de la zona de cántara que han de ir van vacíos en la condición de plena carga se dispondrán como tanques, llamémosle de lastre separado, para agua de mar, dimensionados y distribuidos para cumplir con las exigencias de resistencia longitudinal, máxima eslora inundable y calados correctos.

Propulsión por motores Diesel, con una, o dos o tres líneas de ejes para los buques de mayor tamaño a fin de limitar el diámetro del propulsor en los buques mayores, y obtener en combinación con las formas más adecuadas el mejor rendimiento propulsivo del conjunto.

Bombas de carga (realmente para descarga del agua dulce) y de lastre eléctricas, alimentadas por grupos Diesel generadores. Podrán efectuar la descarga en 24 horas. Un grupo menor, que puede ser el de emergencia, dará la potencia necesaria para los consumos de habilitación cuando el buque se encuentre en situación de "stand by". Se dispondrán tomas de mar y conexiones para facilitar en lo posible el lastrado por gravedad. La carga de agua dulce se realizará con medios del terminal de carga.

Presión de descarga de las bombas: se estima que serán suficientes 60 m.c.a.- La descarga de agua dulce en el suministro citado a Palma de Mallorca se hizo a 30 mts. de columna de agua..

Número de días operativos por año = 345. En opinión de armadores podrían estimarse más, probablemente 350-355.

Tripulación reducida en base a la automatización de cámara de máquinas, o cámara de máquinas desatendida, y automatización de otros servicios.

Se parte de buques construidos nuevos a niveles de precio internacionales actuales. Interés del dinero, en principio 3%. Amortización, en principio 15 y 20 años. Precio del fuel oil a nivel de mediados de 2007.

### **3.- OBTENCIÓN DE LA ECUACIÓN DE COSTE**

Variables a considerar, datos de partida:

- Distancia en millas Estación de Carga - Estación de Descarga = G Millas.
- Peso Muerto = PM Tns. =  $10^3$  PM (kT) en kTns.
- Velocidad de servicio a Plena Carga = Vpc ó V en nudos.
- " " " en Lastre = Vla ó V' " "
- Potencia en servicio = P en C.V.- Se toma P como un 15% superior a la necesaria para dar V en pruebas, como margen por estado de mar y suciedad del casco.- La potencia instalada será un  $1/0.9 = 1.11$  P.
- Consumo de combustible: Se toman 0.140 kg. F.O./C.V.\*hora. En esta cifra se engloba, a efectos de coste, el consumo de aceite.
- Duración de la carga : 1 + 1 = 2 días. La carga debe hacerse en un día. Se toma uno adicional para maniobras y margen de espera.
- Duración de la descarga = 2 días, igual que en el caso de la carga.
- Total para carga y descarga = 4 días por viaje.

Esto pudiera considerarse una cifra conservadora. Los armadores consideran en general 3 días en total.

- Potencia media consumida durante la descarga = L C.V., referida a 48 horas.
- " " " " " carga = T " " " " "
- Coste inicial del buque =  $C_i$  €.
- Valor residual al final del período de amortización =  $C_r$  €.
- Valor " actualizado =  $C' r$  €.
- Coste del seguro anual del buque: 0.7% del valor del buque.
- Gastos de la Sociedad de Clasificación, incluido P + Indemnity: como cifra de referencia se toman aproximadamente 60.000 € por año para un petrolero de alrededor de 150.000 TPM, con lastre segregado, obteniendo en base a esta cifra la correspondiente a los buques objeto de este estudio.
- Para los dos conceptos anteriores se estima un coste total anual de un 0,8 % del coste del buque aljibe ( $C_i$ ).
- Gastos de organización y mantenimiento: para este tipo de buque se estiman en un 1.5% del coste del buque ( $C_i$ ).
- En total, para los dos conceptos anteriores: 2.3% de  $C_i$ .
- Varadas del buque: una cada 3 años en principio, como se hace con petroleros en servicio. Equivalente a un coste anual aproximado de:

$$C = 8000 * (\lambda PM kT)^{(2/3)} \text{ € /año}$$

- Nº de tripulantes =  $t = 20$  en principio.
- Coste por tripulante y año = 45.000 euros.
- Amortización anual:

$$A = (C_i - C' r) * r * \frac{(1+r)^n}{(1+r)^n - 1} = a C_i$$

$$\text{de donde: } a = r * \frac{(1+r)^n}{(1+r)^n - 1} * \frac{C_i - C' r}{C_i}$$

En la expresión anterior, el valor residual  $C' r$  no es el valor residual  $C_r$  al final del período de amortización, sino el valor residual actualizado que calcularemos como sigue:

Si se hallara la anualidad de amortización por la expresión normal colocando como capital (deuda inicial) sólo  $C_i$ , se podría suponer una deducción anual de la misma, igual a una cantidad, llamémosle  $A'$ , que capitalizada año tras año con sus intereses sumará al final del período un total que sería equivalente a, y resarcido con dicho valor residual en su valor real  $C_r$  de venta del buque ya explotado.

$$\text{Tendremos: } A' \cdot (1+r)^{(n-1)} + A' \cdot (1+r)^{(n-2)} + \dots + A' \cdot (1+r) + A' = C_r$$

con lo que:

$$A' = C_r \cdot r \cdot \frac{1}{(1+r)^n - 1}$$

Lo cual es equivalente a colocar en la expresión anterior para obtener  $a$ :

$C \cdot r$  igual a  $C_r$  (valor residual real esperado de venta) dividido por  $(1+r)^n$ , es decir:

$$C \cdot r = C_r / (1+r)^n, \text{ o bien:}$$

$$a = \frac{r \cdot ((1+r)^n - 1)}{(1+r)^n - 1} \cdot \frac{C_i - \frac{C_r}{(1+r)^n}}{C_i}$$

Interés del dinero = 3% anual, o bien  $r = 0,03$ , y  $n = 15$  ó  $20$  años.- Se han supuesto amortizaciones anuales, aunque pueda utilizarse otra forma. Naturalmente, ello afectaría algo al resultado.

La fórmula de amortización constante puede no ser la habitualmente utilizada en buques, pero es lógica en función de un largo periodo previsible de servicio del sistema. Si en su lugar se hiciera una amortización con plazos constantes de capital e interés variable, los primeros abonos serían mayores y habría que cambiar la ecuación. Los resultados de coste por  $m^3$  cúbico de agua también se verían afectados.

Para  $C_r$  se toma  $C_r = 0,125 C_i$  para buques de 15 – 20 años.

$$C \cdot r = C_r / (1+r)^n = C_r / 1,07^{15} = 0,3624 \cdot 0,125 C_i = 0,0453 C_i.$$

En la situación actual no parece que fuera necesario complicar las ecuaciones para tener en cuenta la inflación, aunque podría hacerse.



- Duración del viaje completo  $= \frac{G}{24} * \left( \frac{1}{V} + \frac{1}{V'} \right) + 4$  días, incluyendo la carga y la descarga.

$$\text{-Nº de viajes por año } K = \frac{345}{4 + \frac{G}{24} * \left( \frac{1}{V} + \frac{1}{V'} \right)} = \frac{8280}{96 + G * \left( \frac{1}{V} + \frac{1}{V'} \right)}$$

- Coste del combustible consumido en el viaje desde CA hasta DES y vuelta, por año:

$$= 0,140 * P * G * K * M * \left( \frac{1}{V} + \frac{1}{V'} \right) \text{€}$$

- Coste anual del combustible correspondiente a las operaciones de carga y descarga así como el consumido durante los días de inactividad supuestos por año (20 días) =  $[(127,6PM(kT) + 22.042) * K + 110.208] * M$  €.

- Cantidad de agua dulce transportada al año =  $K * PM * \theta$  m<sup>3</sup> ó t.

$\theta$  = Corrección del Peso Muerto para obtener la carga útil en agua dulce. Tiene en cuenta la reducción por combustible y aceite en tanques, agua para uso propio del buque y otros consumibles y pertechos, siendo:

$$\theta = 0,985 * \left[ 1 - \frac{0,00154 \left( \frac{P}{V} \right) + 0,6}{PM(kT)} \right]$$

(Nota: kt quiere decir en todos los casos kilo toneladas).

- Gastos de puerto por viaje redondo: Incluye remolcadores, práctico, tarifas por atraque en los pantalanes de carga y descarga. Resultaría un valor aproximado de:

$$4.300 * (\lambda * PMkT)^{(2/3)} \text{€}$$

Los gastos anuales correspondientes se obtienen multiplicando dicha expresión por K (nº de viajes por año).

Sumando todos los costes anuales, obtendremos un TOTAL y dividiéndolo por el nº de de agua transportada al año, obtendremos el coste del flete F.I.L.O. por m<sup>3</sup>.

- Coste/m<sup>3</sup> agua dulce transportada y descargada:

$$\sigma = \frac{TOTAL}{Cant.m^3aguadulcetransportada / año} \quad \text{€ /m}^3$$

o bien

$$\sigma = \frac{TOTAL}{K * PM(t) * \theta} \quad \text{€ /m}^3$$

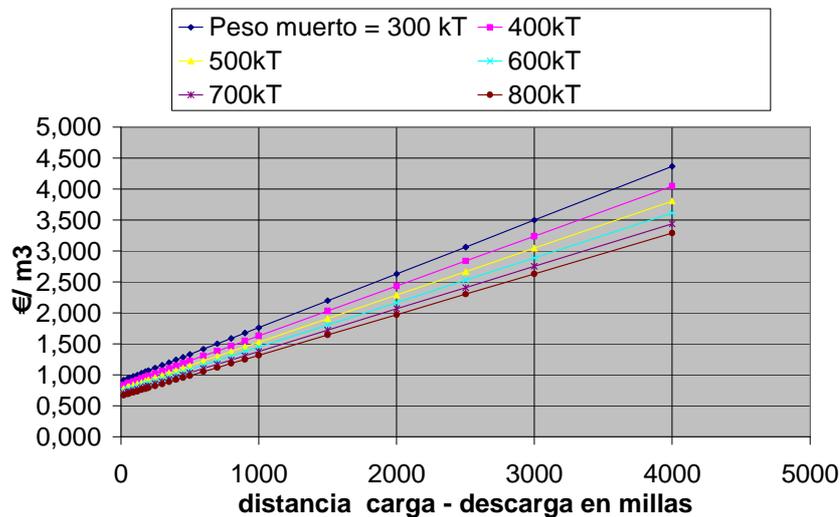
La primera variable a determinar es la velocidad que daría el coste unitario más económico del flete para el transporte del agua, obteniéndose un valor muy próximo a los 10 nudos en servicio a plena carga para la mayoría de los casos.

En las tablas y gráficos que siguen se exponen diferentes alternativas correspondientes a tamaños de buques entre 100.000 y 800.000 TPM, como extrapolación, distancias entre la carga y la descarga desde 20 hasta 4000 millas, velocidades de servicio a plena carga entre 10 y 18 nudos, periodos de amortización de 15 y 20 años, interés del dinero 3% y, también, al ser un suministro de interés, no sólo público sino vital, un interés del dinero del 0 % e incluso, como otra alternativa con coste del buque nulo, si se asimila a una infraestructura de ejecución ineludible que tendría que ser sufragado con fondos públicos.

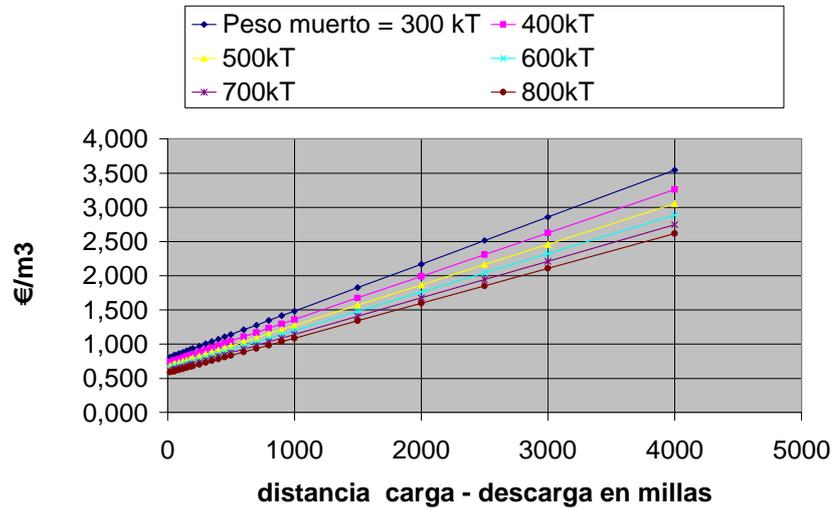
				amortización 15 años, interés 3%					10 nudos	10 nudos
		10 nudos	11nudos	12nudos	13 nudos	14 nudos	15nudos	18 nudos	20amort- int 0%	C. buque cero
distancia	PM en Kt	coste m <sup>3</sup> €	coste m <sup>3</sup> €	coste m <sup>3</sup> €	coste m <sup>3</sup> €	coste m <sup>3</sup> €	coste m <sup>3</sup> €	coste m <sup>3</sup> €	coste m <sup>3</sup> €	coste m <sup>3</sup> €
20Millas	300	0,910	0,919	0,929	0,942	0,957	0,973	1,037	0,811	0,593
50Millas	300	0,936	0,945	0,956	0,970	0,986	1,005	1,075	0,831	0,602
90Millas	300	0,971	0,980	0,992	1,007	1,025	1,046	1,125	0,859	0,613

90Millas	400	0,891	0,897	0,907	0,919	0,936	0,956	1,048	0,784	0,548
120Millas	300	0,997	1,006	1,019	1,035	1,055	1,077	1,163	0,880	0,622
120Millas	400	0,915	0,921	0,931	0,944	0,962	0,984	1,085	0,803	0,556
120Millas	500	0,856	0,860	0,869	0,882	0,897	0,916	1,004	0,747	0,510
200Millas	400	0,980	0,984	0,996	1,011	1,033	1,059	1,183	0,853	0,576
200Millas	500	0,916	0,920	0,930	0,945	0,964	0,987	1,093	0,795	0,529
400Millas	400	1,141	1,144	1,160	1,179	1,211	1,248	1,430	0,980	0,626
400Millas	500	1,069	1,070	1,083	1,103	1,129	1,162	1,318	0,914	0,574
600Millas	400	1,303	1,304	1,323	1,347	1,388	1,437	1,676	1,107	0,677
600Millas	500	1,221	1,220	1,236	1,261	1,294	1,337	1,542	1,032	0,620
900Millas	400	1,545	1,543	1,567	1,599	1,655	1,720	2,046	1,297	0,753
900Millas	500	1,449	1,444	1,465	1,498	1,543	1,600	1,878	1,211	0,689

**Figura 9. Costes fletes FILO para diferentes distancias, tamaños y velocidades del buque a plena carga y condiciones financiación**

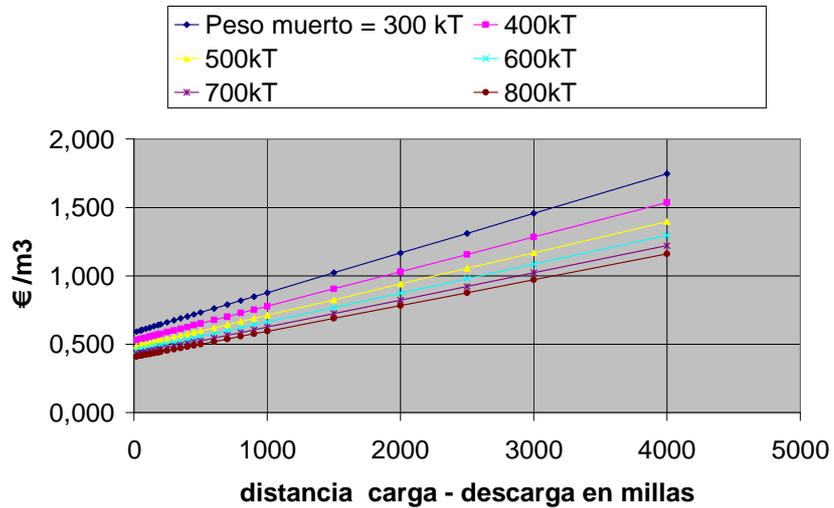


**Figura 10. Coste flete. Velocidad PC buque 10 nudos, amortización 15 años, interes 3%. (buques 300 a 800 kt )**

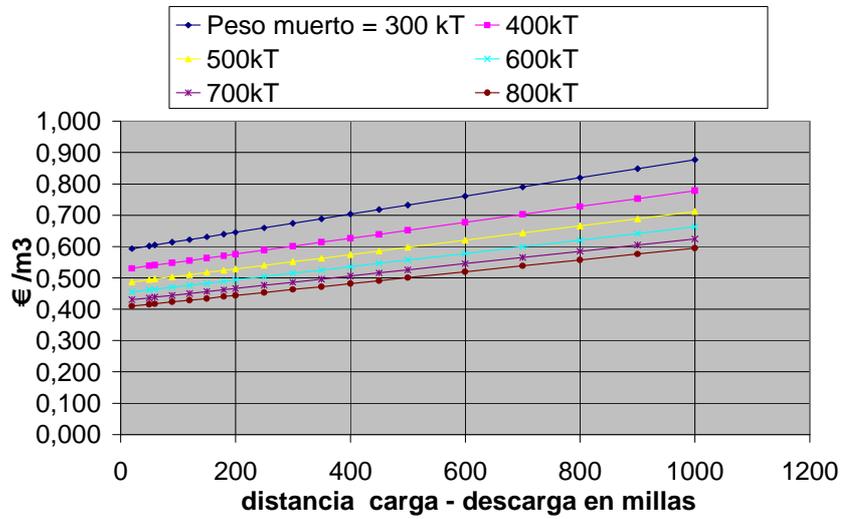


**Figura 11. Coste flete. Velocidad PC buque 10 nudos, amortización 20 años, interes 0%.**

**(buques 300 a 800 kt )**



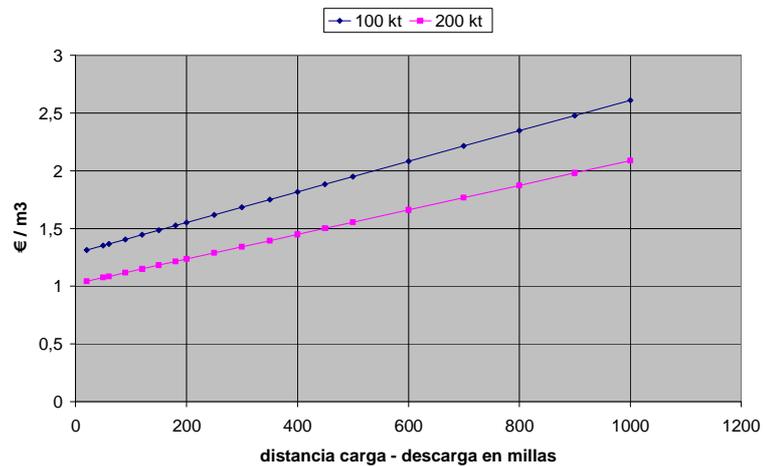
**Figura 12. Coste flete. Velocidad PC buque 10 nudos, amortización 20 años, interes 0%, coste buque cero (buques 300 a 800 kt )**



**Figura 13. Coste flete. Velocidad PC buque 10**

nudos, amortización 20 años, interes 0%,

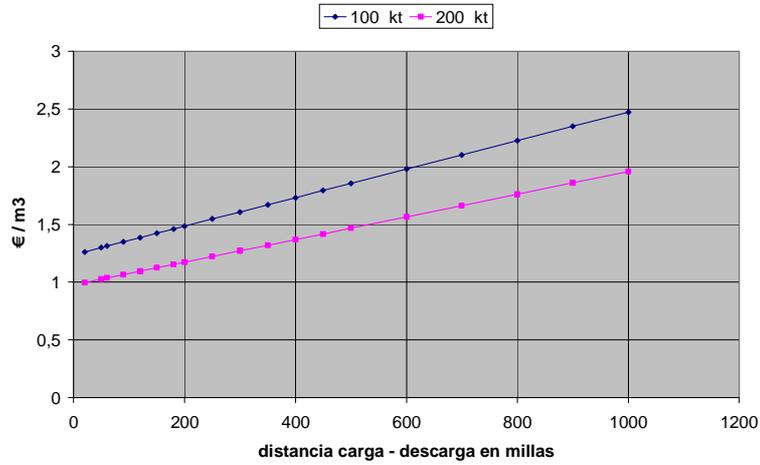
coste buque cero (buques 300 a 800 kt )



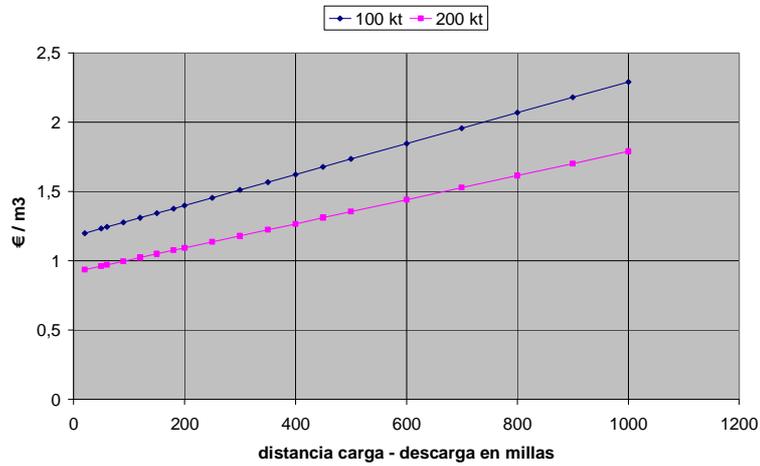
**Figura 14. Coste flete. Velocidad PC buque 10**

nudos, amortización 15 años, interes 3%.

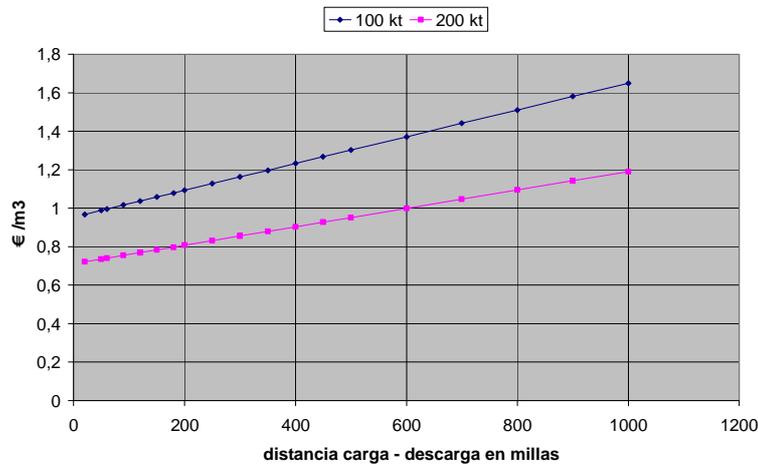
(buques 100 - 200 kt )



**Figura 15. Coste flete. Velocidad PC buque 10 nudos, amortización 20 años, interes 3%.  
(buques 100-200 kt )**



**Figura 16 Coste flete. Velocidad PC buque 10 nudos, amortización 20 años, interes 0%.  
(buques 100 - 200 kt )**



**Figura 17. Coste flete. Velocidad PC buque 10**

**nudos, amortización 20 años, interes 0%,**

**coste buque cero.**

**(buques 100 - 200 kt )**

#### **4.- POSIBILIDAD DE AHORRO ENERGETICO Y DISMINUCIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO.**

Para una planta de desalinización de ósmosis inversa de gran tamaño, hay que prever un consumo energético del orden de 4 kWh por m<sup>3</sup> de agua dulce producida, aunque estimaciones optimistas tratan de reducirlo hasta algo más de 2 kWh con un rendimiento de la bomba del 90% y una recuperación de energía también del 90% . Supongamos, siendo optimistas, un consumo energético intermedio de 3 kwh por m<sup>3</sup> de agua producida.

Tomando como referencia lo indicado en la Fig. 5, para una distancia entre carga y descarga de 200 millas, transportando el agua en buques monocasco de 300.000 tn de peso muerto a 11 nudos de velocidad, vemos que el consumo energético equivalente no llega a 1,3 kWh por m<sup>3</sup> de agua dulce transportada. Podemos hablar entonces de un ahorro energético, en este caso, de alrededor de 1,7 kWh por m<sup>3</sup> de agua dulce suministrada.

Vemos también que la cantidad de agua transportada por un buque de 300.000 TPM en un año, en estas condiciones, es de 20 millones de m<sup>3</sup>, lo cual significa un ahorro 34 millones de kWh anuales, o bien 34.000 MWh, lo cual significa una reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> de 30.000 toneladas al año, así como de una reducción de unas 100 toneladas de SO<sub>2</sub> y unas 120 toneladas de NO<sub>x</sub> en comparación con la producción equivalente de agua dulce en plantas de ósmosis inversa, si para éstas, las fuentes de energía fueran las convencionales.

Suponiendo un consumo medio de agua por persona y día de 200 litros, que no es excesivo, o bien de unos 50 m<sup>3</sup> por persona y año, la cantidad de agua transportada por el buque del ejemplo sería suficiente para abastecer una población de 400.000 personas.

Si por dicho procedimiento se abastecieran en el mundo 50 millones de personas, lo cual puede ser una cifra muy razonable, el ahorro energético sería de 4 millones y cuarto de MWh y la reducción de emisiones de gases sería de 3,75 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>, de 12.500 toneladas de SO<sub>2</sub> y 15.000 de NO<sub>x</sub>.

## 5.- VENTAJAS

- Ventajas para los armadores por el posible alargamiento de la vida operativa de los buques y ahorro general al utilizar medios ya existentes, aunque sometidos a adaptación y puesta a punto, significando también trabajo para astilleros y obra offshore.
- Ahorro de energía en comparación con la desalación, y de otros recursos.
- Disminución de la producción de gases de efecto invernadero: CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, como hemos visto.
- La sustitución parcial de la desalación por importaciones de agua dulce contribuye a paliar problemas locales de concentración salina provocada por la salmuera procedente de la desalación.
- Consecuencias todas muy positivas desde el punto de vista ecológico.
- Los países con recursos sobrantes de agua dulce disponen así de un recurso explotable que cobra su importante valor, económico pero sobre todo ecológico, lo cual exigirá controlarlo y cuidarlo con esmero.

- No se necesitan infraestructuras fijas permanentes que pudieran significar alteraciones o agravios duraderos para el medio ambiente o que, pasado el tiempo, pudieran quedar inutilizadas por diversas razones.
- Versatilidad y facilidad de puesta a punto del sistema y de respuesta rápida a necesidades y problemas coyunturales.
- Posible utilización en los viajes de vuelta de los buques aljibe, por ejemplo, reforzados si es preciso, para transportar cubiertas de contenedores.
- Posibilidad de servicio a explotaciones turísticas y de ocio de alto poder adquisitivo, como hoteles, urbanizaciones, parques temáticos, campos de golf, etc.
- Otra utilización que puede ser interesante según indicó algún profesional del sector: estos buques podrían retornar con arena cargada como una emulsión, con una concentración de un 6 a un 8%, en el agua salada para el lastrado de los tanques de lastre separado para, a su vez, ser descargada de la misma manera. Existe un importante déficit de arena en algunos lugares para reconstrucción de playas y costas. Como ejemplo, se podría mencionar que en la provincia de Pontevedra, se necesitan del orden de 5 millones de metros cúbicos para reconstrucción de las playas y, a partir de ahí, un 10%, ó más de esta cantidad, por año, para reposición de las pérdidas. Además, se puede usar también para construcción civil después de ser lavada con agua dulce. Tiene un precio de cierta importancia y no es permitido en casos tomarla en la costa ni en los ríos, siendo de mejor calidad que la de cantera. Puede, sin embargo, ser abundante y de buena calidad en alguno de los sitios receptores de agua dulce y ser interesante importarla desde allí. Exigiría disponer una draga de succión trabajando en el sitio y un sistema de agitación y carga del "slurry" en los buques aljibe, así como equipo adecuado en éstos para la descarga, e instalaciones para la recepción, transferencia, y quizá lavado, anexos al terminal de carga de agua dulce.

## 6.- BIBLIOGRAFÍA

- Enero 2006 ."The Clarkson SHIPPING REVIEW & OUTLOOK",
- Lloyds List Bunker 60 , 26/05/06.
- Enero 2006. Searnley.
- Infoagro 2006. Plan Hidrológico Nacional
- Enciclopedia Marítima 2000.- Instituto Marítimo Español.
- Cartas Náuticas del Instituto Hidrográfico de la Marina.

- Maude Marlon. June 1999. "Blue Gold. The Global Water Crisis and the Commodification of the World's Water Supply".
- Agosto 1.996- "Gibson Tanker Report".
- "Tanker Market Report", "Monthly Market Report" y publicaciones: "Tankers", "Ports & Terminals", 1.995.- INTERTANKO.
- De Juan-García Aguado, José María. 1.993. " Principios de Teoría del Buque. Dinámica". Editado por la Universidad de A Coruña.
- OMI, 1.993. "International Convention for the Prevention of Pollution by Ships, 1.973, and Protocol of 1.978 (MARPOL 73/78).- "MARPOL- How to do it".
- "1987-1970. - Datos de los 16 buques petroleros, de tamaños entre 230.000 TPM y 362.000 TPM construidos en Astano, el último se entregó en 1.987, incluidos datos del Canal de Experiencias Hidrodinámicas de El Pardo.
- Biswas Asit K., 1983."Management of Shared Natural Resources". Journal of Indian Water Resources Society. Vopl. 3 No. 1, pp. 7-18.
- Pérez Gómez, Gonzalo, Dr. Ingeniero Naval: Abril-Mayo 1983 "Conferencias sobre fundamentos y tendencias actuales de la propulsión marina. Sistema propulsor TVF".
- 31/5 y 1/6/ 1983. Reportaje sobre el seminario internacional celebrado en la sede de la O.M.I., Londres, sobre transporte de agua en buques petroleros, publicado por la revista Información de Elcano, junto con la traducción de la comunicación presentada en el seminario por Mr. Meyer, antes citado.- "Lastrado con agua dulce (FWT) como medio para la conservación de la energía y los recursos naturales".
- Nov. 1.983.- Drewry Shipping Consultants Ltd., the Research Division.
- Febrero de 1.982. Transactions, The Institute of Marine Engineers: "Conference on Priorities for Reducing the Fuel Bill".
- "Unconventional Trading Opportunities for Tankers".
- 1982. "Water supply improvement in the next decade".- Tenth Annual Conference de la WSIA (Water Supply Improvement Association), Honolulu, 25-29/7/1.982.
- Meyer, Trygve A., INTERTANKO. 1.981.- Water Transportation in Tankers, "Should energy carriers backhaul water for food production?".-Traducido y publicado por la revista Información de la Naviera Elcano, Nov. 1.981.
- Biswas Asit K., 1981.- "Long Distance Mass Transfer of Water". Water Supplí and Management". Vol. 5, No. 3, pp. 245-252.
- Barney, G.O., 1981. "The Global 2000 Report to the President of United States", Vol. 2, Pregamon Press, Oxford.
- 1.979. Canadian Shipping and Marine Engineering,: "Increase tanker capacity: The diafragm tanker vs. the standard segregated ballast tanker".
- Catálogos con presentación y resultados de experiencias del producto Filton, por el Prof. Y. Yamadera, el Dtr. Jun Ui, Urban Engineering, Faculty of Engineering, Tokio University; Dr. S. Murakami, Yamaguchi University; y Mr. Y. Akiyama, Dtor. Gral. de "Fresh Water Project Team", Mitsui & Co. Ltd.

- Coune, J. y Bèhin, D. Amos Baki & Robert G. Christensen, 1.976.- "Large Shallow Draft Bulk Carrier Technology Assessment".- Naval Engineers Journal.
- Julio 1.975.- "Petroleros de 500.000 TPM y superiores".- Traducido y publicado en la Revista "Información", de la Empresa Nacional Elcano de la Marina Mercante, S.A.
- Agosto 1.971. - Emerson, A. (M. sc., C. Eng., M.I. Mar. E.); Sinclair, L. (C. Eng., M.I. Mar.E.); Milne, P.A. (Ph. D., C. Eng., A.M.I. Mar. E.); 1.970.- "The propulsion of a million ton tanker".- Institute of Marine Engineers.- Publicado por Stone Manganese Marine Limited (S.M.N.).
- Shinkokinzoku Ind. Co. Ltd., Designing Dpt. 1.971.- "On unloading time".
- Reducing energy consumption in seawater desalination.- M. Bsck, W.E. Mickols. Elsevier. Desalination 165 (2004).