VII CONGRESO PANAMERICANO
DE INGENIERIA NAVAL,
TRANSPORTE MARITIMO E
INGENIERIA PORTUARIA

Viña del Mar (Chile), 19-24 de Octubre, 1981.

Convoca:

Organiza:

FLOTA OPTIMA DE BUQUES PARA EL TRANSPORTE DE MATERIAS PRIMAS A UNA INDUSTRIA SIDERURGICA

GUILLERMO GODOY P.
WINSTON ROJAS J.

INTRODUCCION

La industria siderúrgica está ubicada en la bahía San Vicente de la Octava Región, Chile. Se abastece de mineral de hierro y pellets de los puertos de Guayacán y Guacolda; de caliza desde la isla de Guarello, en el Sur y de carbón, principalmente de tres puertos extranjeros: Vancouver en Canadá, Norfolk en Estados Unidos y New-Castle en Australia. Esta industria tiene en proyecto un aumento de su producción de acero y cambios importantes en el abastecimiento de sus materias primas e insumos tanto en calidad, cantidad y procedencia. Se ha fijado, en forma tentativa, el año 1985 como el comienzo de las nuevas condiciones de abastecimiento.

El estudio que se desarrolla a continuación, tiene por objeto determinar la flota óptima de barcos para realizar este transporte. En primer lugar, se analiza la infraestructura portuaria e instalaciones en los muelles de la siderúrgica en San Vicente, para determinar el barco máximo admisible. Luego se estudian las modificaciones que deben realizarse en el puerto de Guarello para recibir el barco máximo y finalmente se realiza el análisis para obtener la flota óptima.

1.0 BARCO MAXIMO PARA EL TRANSPORTE DE MINERAL DE HIERRO

Los puertos del Norte del país, Guacolda y Guayacán, de los cuales procede el mineral de hierro son de gran capacidad, de manera que el barco máximo para el transporte de mineral de hierro queda definido por las características de diseño del muelle de la usina y de sus instalaciones. Se analizan a continuación, los factores principales de diseño que involucran una determinada limitación al tamaño de los barcos metaleros.

1.1 PROFUNDIDAD MAXIMA DE DRAGADO

La capacidad de soporte de los pilotes del muelle proviene principalmente de la fricción entre pilote y suelo y es proporcional a la penetración del pilote en el suelo marino. Si se draga al pie de los pilotes a mayor profundidad que la especificada en el diseño, se tendrá una disminución dela capacidad de soporte de éstos. Si se considera que los pilotes del costado Norte del muelle son los más solicitados, debido a las cargas de las ruedas exteriores de las torres, no es recomendable disminuir la penetración.

Si junto a la línea de atraque se instala un tablestacado, como se muestra en la fig. 1.11, se puede realizar un dragado hasta una profundidad de 12,40 m. referida al nivel de reducción de sondas. El tablestacado impedirá que el suelo bajo el muelle escurra hacia la zona de atraque dejando al descubierto la zona no revestida de los pilotes de acero y asegurará una mayor estabilidad al área dragada.

1.2 LONGITUD MAXIMA DE ATRAQUE

Establecida la profundidad máxima de dragado, se puede determinar la longitud máxima de atraque en función de la longitud del muelle, la profundidad del extremo inferior de los pilotes y la estabilidad del dragado.

El muelle tiene 82 cepas de pilotes a 4,57 m. entre sí, sobre éstas va la plataforma de vigas y losas de Hormigón Armado. El muelle tiene 370 m. de longitud. Desde la cepa 21 hacia la costa la profundidad de la punta inferior de los pilotes disminuye según una recta paralela al perfil de la playa. La cepa 21 se encuentra a 280 m. del cabezo.

Para considerar la estabilidad del dragado en la zona cercana a la plaza, se procedió a dibujar perfiles del fondo del mar paralelos al muelle y distancias de 5 25 y 50 m. de la línea de atraque como se muestra en las figs. 1, 21 y 1,22. Se define como Perfil de Equilibrio aquel perfil del fondo del mar, separado alrededor de 25 m. de la línea de atraque que se caracteriza por permanecer con muy poca variedad a través del tiempo.

El perfil de equilibrio resulta del análisis de los perfiles de la fig. 1.22 y la modificación que experimentaría, debido a la nueva profundidad de dragado. Se obtiene el perfil de equilibrio cuando se draga hasta la cepa 30 que está a 240 m. del cabezo. La profundidad de 12,40 m. se logra en forma estable sólo a 225 m. del cabezo y esta distancia determina la longitud máxima de atraque.

La profundidad máxima de dragado de 12,40 m. y la longitud máxima de atraque de 225 m. son definitivas para el muelle actual. Ellas configuran el tamaño máximo de barco en función de la infraestructura portuaria.

1.3 ANALISIS DEL CALADO MAXIMO

La navegación en profundidades muy bajas, como son la mayoría de los sitios de atraque, produce en el buque una succión hacia el fondo, fenómeno conocido como "Squat" y que se cuantifica aproximadamente en un décimo del calado. En buques de gran tamaño esta magnitud resulta mayor que el resguardo entre el fondo del buque y el lecho marino por la alzada y cabeceo del barco, debido al movimiento del mar, que normalmente se cuantifica en 3 pies o 0,09 m.

En el diseño deben considerarse además, dos factores que afectan al calado; uno debido a la imprecisión de una faena de dragado y el otro factor que considera un relleno gradual del fondo, a través de algunos años, al cabo de los cuales se debe volver a dragar.

Las consideraciones anteriores determinan un calado máximo para los buques de 11.00 metros referidos a la marea mínima como se aprecia en la tabla siguiente:

Calado máximo en el costado Norte	11.00 m.
Resguardo por "Squat" (10%)	1.10 m.
Resguardo por imprecisión del dragado	0.10 m.
Reserva por relleno del fondo	0.20 m.
Profundidad de diseño	12,40 m.

1.4 LIMITACION DE LA MANGA DEL BARCO MAXIMO

Una consideración normal de diseño de los buques metaleros es que la anchura de escotilla sea igual a un medio de la manga. Por otra parte, desde un punto de vista práctico, es recomendable que el alcance de la pluma cubra por lo menos los dos tercios de la anchura de la escotilla.

Estas dos consideraciones permiten determinar la manga máxima del buque para una operación normal. Las figs. 1.41 y 1.42 muestran la relación torre-barco para las torres descargadoras N° 1 y N° 2.

	Torre 1	Torre 2
Alcance pluma desde el riel	56'	65'
Separación entre riel y barco	11'	11'
Alcance neto	45'	54'
Manga = Alcance neto/0,583	77,2	93,1'
Manga en metros	23,5 m.	28,4 m.

Un porcentaje considerable del transporte de carbón se realizará desde la costa atlántica de los Estados Unidos y la ruta contemplará el paso por el canal de Panamá. Las esclusas del canal permiten el paso de buques, cuya manga máxima sea de 104' ó 31,7 m., luego adoptaremos esta cifra como manga de diseño. Las dificultades en las faenas de descarga, al tener un buque con manga mayor que la normal para las instalaciones existentes, se compensarán con el menor costo de explotación de una flota de buques de mayor tamaño. En las figuras 1.41 y 1.42 se muestra el alcance máximo de la pala en relación a la crujía de un barco de 104' de manga.

1.5 LIMITACIONES DEL PUNTAL DEL BARCO MAXIMO

Las principales variables que intervienen para determinar el puntal máximo admisible son:

a. La altura de la torre con respecto al nivel del muelle y de éste con respecto al nivel medio del mar.

b. Altura de la pala y accesorios de suspensión con los cables recogidos al mínimo normal.

c. Nivel promedio de mareas máximas referidas al nivel medio del mar.

La distancia entre el nivel del mar en plea y la parte inferior de la cuchara de la torre 2, es de 17 m. Para la torre 1, esta distancia es menor y vale 12,5 m. Supondremos que la torre 2 impone la restricción de diseño. Así la torre 1 trabajará hasta que el buque tenga un huelgo de 1 m. con respecto a su pala, el trabajo restante deberá realizarse sólo con la torre 2, salvo que se lastre el buque durante la descarga.

Para la torre 2, se considera un huelgo de 2. m medido desde la parte superior de la brazola de la escotilla y la parte inferior de la pala. El puntal resultante es de 16 m. Esta cifra podría ser algo mayor si el buque es lastrado simultáneamente con la operación de descarga. (ver fig. 1.51)

1.6 DIMENSIONAMIENTO DEL BUQUE MAXIMO

Las dimensiones principales guardan ciertas relaciones morfológicas que son características para cada tipo de buque. Para el diseño del metalero máximo en el muelle de la Usina, se considerará el gráfico de Buxton fig. 1.61, el cual nos permite determinar las características del buque de acuerdo con el análisis de restricciones precedentes. El calado impone una limitación absoluta y es la base para cuantificar las demásvariables cuyos valores son los siguientes:

LT	Eslora total	202.00 m.
LCWL	Eslora en flotación franco bordo de verano ..	195,80 m.
LPP	Eslora entre perpendiculares	188,00 m.
B	Manga de trazado	31,70 m.
T	Calado	11,00 m.
D	Puntal	16,00 m.
FB	Franco Bordo	5,00 m.
S	Coeficiente de bloque	0,82 m.
DWT	Peso muerto	45.500,00 Ton.
PL	Carga Remuneradora	42.500,00 Ton.
DT	Desplazamiento total	55.500,00 Ton.

El calado es la restricción más importante del muelle. Sólo puede mejorarse en 0,30 m. si con mayor precisión se determina el "squat" en función de una velocidad dada de atraque. El beril 13 m. se encuentra 200 m. mar adentro del cabezo, de modo que una extensión del muelle produce ventajas mínimas a un elevado costo.

La manga es una restricción para los barcos carboneros en la ruta por el Canal de Panamá y aunque las plumas no tienen el alcance óptimo, no se justifica extenderlas.

El puntal del barco está limitado por la torre 2 pues la torre 1 queda fuera de operación cuando el "air draft" del buque llega a 11,5 m.

La eslora total permite dejar 13 m. de resguardo en popa y 10 m. en proa pues la longitud de atraque es de 225 m.

1.7 BARCO MAXIMO PARA EL TRANSPORTE DE CARBON Y COQUE

El análisis precedente para el barco máximo en la usina, indica que las limitaciones para este tipo de transporte son las mismas, aún cuando la ruta no pase por el Canal de Panamá.

1.8 INVERSIONES MINIMAS EN EL MUELLE DE LA USINA PARA ATENDER EL BARCO MAXIMO

La inversión principal corresponde a las faenas de dragado, los otros items de inversión corresponden al tablestacado que deberá colocarse al pie de la línea de atraque y a inversiones menores en refuerzo de las defensas y de los elementos de amarra de los barcos.

1.81 DRAGADO

En la figura 1.81 se muestra el área que debe dragarse para permitir el atraque del metalero máximo con suficiente seguridad empleando en esta maniobra un remolcador de potencia adecuada. Para cubicar el material a dragar se utilizó un plano hidrográfico reciente.

Volumen a dragar ..... 120.000 m^3

El valor del metro cúbico a dragar se estima en US$ 14. Al evaluar en un 50% adicional el mayor costo debido a las numerosas interrupciones originadas por la operación del muelle se tiene el costo siguiente:

D= 120.000 x 14 x 1,50=US$ 2.500.000.-

La faena de dragado es difícil de avaluar sin conocer las características de la draga y la distancia al lugar de depósito del material dragado.

Se estimará el tiempo total de dragado en base a las siguientes suposiciones:

Tiempo teórico de dragado		12 hrs/día
Tiempo real de dragado		8 hrs/día
Esponjamiento del material		25%
Volumen efectivo a dragar		150.000 m^3
Rendimiento de la draga		250 m^3/hr.
Volumen diario de dragado		2.000 m^3
Tiempo de dragado	150.000/2.000=	75 días
Suspensión por mal tiempo 20%		15 días
Tiempo total de dragado		90 días

1.82 TABLESTACADO Y OTROS

Se necesitan alrededor de 250 toneladas de tablestacas tipo DP-2 cuyo costo por toneladas se estima en:

Costo tablestacas	US$	700
Costo construcción	US$	300
20% Imprevistos	US$	200
	US$	1.200

Los imprevistos consideran interferencia con la operación de los barcos y con las defensas del muelle.

Costo total = 250 x 1.200 = US$ 300.000

Los gastos varios consideran el reemplazo de las pantállas de madera de las defensas por elementos de material sintético, el refuerzo de las cadenas de las defensas y posibles inversiones en elementos de las boyas.

Se supone en forma global una inversión de: US$ 200.000.-

RESUMEN DE INVERSIONES MINIMAS EN LA USINA

Dragado	US$	2.500.000
Tablestacado	US$	300.000
Defensas y otros	US$	200.000
TOTAL	US$	3.000.000

2.1 BARCO MAXIMO PARA EL TRANSPORTE DE CALIZA

La ruta de navegación desde el muelle de Lusina al muelle de Guarello comprende: Bahía San Vicente, Océano Pacífico, Canal Trinidad, Canal Concepción, Canal Oeste, Seno Contreras y Bahía Corbeta Papudo.

La ruta no presenta problemas para el barco de 45.500 TDW. Tampoco existen problemas para que esta nave pueda maniobrar en la Bahía Corbeta Papudo, con la ayuda de un remolcador.

2.2 MUELLE

El muelle existente en Guarello y sus instalaciones están en su máxima capacidad de operación, permiten cargar sólo con 25.000 TDW a los buques que actualmente realizan el transporte de caliza. El buque de 45 mil 500 DTDW exige un mayor calado, un muelle y defensas de mayor capacidad y una torre de mayor altura y alcance.

Se propone un muelle nuevo con línea de atraque desplazada 10 metros hacia el mar para ganar profundidad. En las fig. 2.21 y 2.22 se muestran las características principales de estas nuevas obras, y la ubicación de la nueva línea de atraque que se propone, a fin de evitar la tronadura submarina del fondo rocoso.

El nuevo muelle debe tener pilotes verticales e inclinados hacia tierra para mayor resistencia al impacto de los barcos y deben construirse dos plataformas de atraque.

2.3 ATRAQUE Y DESATRAQUE

Estas faenas se realizarán con ayuda de un remolcador de 1.300 BHP. La ruta de entrada se muestra en la fig. 2.23 la maniobra de atraque se presenta en la fig. 2.25 donde se indica el punto donde le barco deberá lanzar el ancla de estribor y luego el remolcador empuja al buque por estibor popa acercándolo a la línea de atraque.

El desatraque se muestra en la fig. 2.26. Primero el buque vira el ancla y a la vez el remolcador lo desatraca desde estribor popa. Luego el buque toma la ruta de salida indicada en la fig. 2.24.

2.4 INVERSIONES MINIMAS EN GUARELLO PARA RECIBIR EL BARCO MAXIMO

Las alternativas que se presentan en Guarello son tres:

a. Consevar el sistema actual Muelle y Torre sin cambios y continuar operando con los barcos de: 25.000 DWT.

para esta alternativa, las inversiones son:

1.	Reparaciones en el muelle	US$	30.000.-
2.	Refuerzo Plataforma N° 3		30.000.-
3.	Construir Plataforma N° 4		100.000.-
4.	Def. de goma, balsas, bitas, etc.		40.000.-
		US$	200.000.-

b. Alternativa que considera mover la línea de atraque a la nueva ubicación mostrada en el plano, construir nuevo muelle y plataformas de atraque, conservar la actual torre cargadora, pero aumentar su altura y reemplazar la pluma por otra de mayor alcance.

INVERSIONES

1.	Modificaciones en la torre y extensión de la correa	US$	100.000
2.	Extensión del muelle		300.000
3.	Dos plataformas de atraque		400.000
4.	Un remolcador		1.800.000
5.	Defensas y otros		100.000
		US$	2.700.000

c. Esta alternativa considera un muelle que permite la operación de una nueva torre de tipo de cuadrante de manera que sea suficiente una corrida del barco para llenar todas las bodegas.

INVERSIONES

1.	Muelle	US$	500.000
2.	Plataformas (dos)	US$	500.000
3.	Torre tipo cuadrante	US$	4.100.000
4.	Remolcador	US$	1.800.000
5.	Defensas y otros	US$	100.000
		US$	7.000.000

Los valores de la inversión en cada item son estimativos y sólo se pretende dar un orden de magnitud a fin de ponderar cada alternativa bajo el punto de vista económico. Consideran un 100% adicional debido a lo aislado del lugar.

TAMAÑO OPTIMO DE UN BUQUE METALERO

Se utilizará la técnica de optimización llamada "Método de la pendiente".

Primero se examinan aquellos costos diarios de un buque que permanecen sin variar para un tamaño dado de buque. Se ha determinado empíricamente que estos costos varían proporcionalmente a la superficie mojada de la nave y por lo tanto pueden expresarse en función de la eslora por la relación:

$$C_f = K_1 \cdot L^2$$

Si se designa el desplazamiento del buque en función de la eslora se tiene la expresión:

$$\Delta = \gamma \cdot K_2 \cdot L^3$$

De estas ecuaciones obtenemos la expresión (1) para los costos diarios no variables en función del desplazamiento.

$$C_f = a \cdot \Delta^{2/3} \qquad (1)$$

El coeficiente "a" se denomina coeficiente de proporcionalidad de los costos fijos del buque, es diferente para cada tipo y tamaño de nave y no permanece constante a través de los años.

El costo de los combustibles se expresa en función del desplazamiento y la velocidad por medio de la siguiente "fórmula del Almirantazgo".

$$E\ H\ P = \frac{\Delta^{2/3} \cdot V^3}{C} \qquad (2)$$

Si esta ecuación se multiplica por el consumo de combustible por HPY por hora, se obtiene la fórmula para el consumo total de combustible por hora:

$$Q = \frac{\Delta^{2/3} \cdot V^3 \cdot q}{C}$$

Supónese que la expresión q/C es constante para las diferentes categorías de buques a los rangos normales de velocidad, en consecuencia la fórmula anterior puede escribirse:

$$Q = \Delta^{2/3} \cdot V^3 \cdot C_1 \qquad (3)$$

1.3 Los costos variables de los buques en puerto pueden dividirse en costos de puerto y costos de carga, como también en otros posibles costos variables.

Los costos de puerto comprenden los costos de amarra y desamarras, pilotaje (prácticos), remolcadores y varios otros derechos de puerto.

Estos gastos son muy heterogéneos, no sólo por su naturaleza sino también, particularmente por su relación al tamaño del buque.

Los costos relativos de remolque disminuyen claramente a medida que el tamaño de la nave aumenta.

Es difícil expresar la proporción de esta disminución debido a la variación de los sitemas de tarifa en diferentes puertos. Esto también es válido para los pilotajes.

Por otro lado, los gastos de amarra y desamarra y especialmente los derechos varios de puerto, son en su mayoría proporcionales al tamaño del buque, o al tonelaje de registro bruto o neto.

Además algunos de los derechos de puerto son proporcionales a la cantidad de carga cargada o descargada, lo que en principio significa otra vez tales costos son proporcionales al tamaño del buque. Como los derechos de puerto son los más importantes, y al mismo tiempo la parte principal de los gastos de puerto, la cantidad total de estos gastos es por lo tanto en el fondo, proporcional al tamaño del buque. Esto puede hacerse, porque el tonelaje neto admite ser expresado en función del desplazamiento.

En vista de ésto, no estaría errado si los gastos de puerto se expresaran matemáticamente como una función del tamaño del buque. Como los costos no variables y los costos de combustible ya se han expresado en proporción al desplazamiento del buque, los gastos del puerto pueden también expresarse en base al tonelaje bruto, capacidad deadweight y finalmente desplazamiento, guiándose algunas veces para ello en buques del mismo tipo. Por lo tanto la subordinación de los gastos de puerto al tamaño del buque puede expresarse en forma general mediante la siguiente fórmula matemática.

$$C_{P1} = i \cdot \Delta \qquad (4)$$

Haciendo abstracción de las diferencias existentes en los gastos de estiba y desestiba en varios países y puertos y de cargas bastante particulares, y como también de la posibilidad de varios convenios con respecto a los gastos de estiba y desestiba y comisiones, estos gastos son sin lugar a duda proporcionales a la cantidad de carga. Si el asunto se considera en su origen, esto es basándose en cierta utilización media de la capacidad del buque, entonces estos gastos también pueden tomarse como proporcionales al desplazamiento. Esto puede expresarse como sigue:

$$C_{P_2} = u \cdot \Delta \qquad (5)$$

Por ende, el costo variable total de puerto para un viaje, puede expresarse por la fórmula:

$$C_P = (i + u)\ \Delta \qquad (6)$$

El costo total de la nave en un viaje puede expresarse, de acuerdo con lo anterior, mediante la siguiente fórmula:

$$C_I = \frac{2D}{24V}\left(a \cdot \Delta^{2/3} + 24e\ V^3\ \Delta^{2/3}\ C_1\right) + \frac{2K\Delta}{N}\ a\ \Delta^{2/3} + (i + u)\ \Delta \qquad (7)$$

donde:

C_t = Costo total del buque
D = Distancia en millas náuticas
a = Coef. de proporcionalidad de los costos fijos
Δ = Desplazamiento
V = Velocidad del buque en nudos
e = Costo de combustible
C_1 = Coeficiente que depende del tipo de motor, tamaño, forma, velocidad
k = Coeficiente que representa la relacion entre capacidad deadweight y desplazamiento (DWT/A)
N = Tasa armónica diaria de carga y descarga en toneladas.
i = Coef. de proporcionalidad delos gastos de puerto.
u = Coef. de proporcionalidad de los gastos de carga, descarga, estiba y desestiba.

Si el costo total de un buque en un viaje se divide por el desplazamiento (deadweight), se obtiene el costo por tonelada de desplazamiento (deadweight):

$$C_\Delta = \Delta^{-1/3}\left(\frac{2Da}{24V} + 2De\ V^2\ C_1\right) + \frac{2ka}{N} \cdot \Delta^{2/3} + i + u \qquad (8)$$

Según lo expresado por esta fórmula, el costo por tonelada de desplazamiento de un barco, es función del tamaño del buque y de la velocidad como variables; en tanto que todos los otros valores se consideran constantes.

El buque óptimo en una ruta dada, es aquel que con su tamaño y velocidad determina el costo más bajo por unidad de capacidad (deadweight o desplazamiento).

Si se calcula la primera derivada de la ecuación (8) con respecto a V y se iguala a cero, se tiene:

$$a = 48 \; e \; V^3 \; C_1 \qquad (9)$$

y la velocidad óptima de navegación

$$V = \sqrt[3]{\frac{a}{48 \; e \; C_1}} \qquad (10)$$

El asunto más importante es la obtención del tamaño óptimo de la nave mineralera, el que se determina si se calcula la primera derivada de C_A con respecto al Δ y se iguala a cero. De aquí resulta que el desplazamiento de un barco mineralero que tenga el costo unitario mínimo en una ruta dada, se exprese por:

$$\Delta = \frac{2 \; D \; (\frac{a}{24 \; V} + eV^2 \; C_1)}{\frac{4 \; K \; a}{N}} \qquad (11)$$

Es más interesante conocer el deadweight óptimo, el que se obtiene multiplicando por K la ecuación (11)

$$DWT = \frac{2 \; D \; N \; (\frac{a}{24 \; V} + e \; V^2 \; C_1)}{4 \; a} \qquad (12)$$

si se saca fuera del paréntesis V^2,

$$DWT = \frac{2 \; D \; N \; (\frac{a}{24 \; V^3} + e \; C_1)}{4 \; a} \; V^2 \qquad (13)$$

Al insertar el valor de la ecuación (9) que es válida cuando el buque navega a su óptima velocidad en el numerador de (13)

$$DWT = \frac{2 \; D \; 3 \; e \; C_1 \; V^2 \; N}{4a} \qquad (14)$$

Si despeja C_1 de (9) y se reemplaza en (14), se obtiene la fórmula final que expresa el tamaño óptimo de la capacidad dead weight de un buque mineralero en una ruta dada

$$DWT = \frac{ND}{32\ V} \qquad (15)$$

DETERMINACION DEL TAMAÑO OPTIMO DE UNA FLOTA DE MINERALEROS

El tiempo en días que tarda un mineralero en efectuar un viaje redondo viene expresado por:

$$\frac{2\ D}{24\ V}$$

Este tiempo debe agregarse al tiempo que permanece el buque en puertos (P), y al tiempo que tarda en atracar y desatracar (E).

El número de viajes anuales (J) viene expresado por:

$$J = \frac{365 - G}{\frac{2\ D}{24\ V} + P + E} \qquad (16)$$

donde G implica días dedicados a inspecciones, reparaciones, accidentes, etc.

La carga neta anual (C.T.A.) que puede transportar el buque óptimo es:

$$C.T.A. = (D\ W\ T - R)\ \frac{365 - G}{\frac{2\ D}{24\ V} + P + E} \qquad (17)$$

donde R, es el peso del combustible, lubricante, agua, tripulación, víveres, etc.

Si se denomina por M la cantidad de carga a transportar anualmente en una ruta dada, el número de naves óptimas (L) necesarias para satisfacer esa demanda es:

$$L = \frac{M}{(DWT - R)\ \frac{365 - G}{\frac{2\ D}{24\ V} + P + E}} \qquad (18)$$

FLOTA OPTIMA DE BUQUES PARA EL TRANSPORTE DE LOS DIFERENTES INSUMOS MINERALES DE LA USINA SIDERURGICA

La velocidad que se considera, se seleccionó después de efectuarse una revisión de las velocidades de los buques bulk-carriers de tamaño medio de los últimos cuatro años, como tambíen de acuerdo con lo dicho por Buxton.

Para la taza de descarga del muelle de la siderúrgica, se utilizan valores máximos y mínimos. Supónese que estas tasas tenderán a normalizarse en 1982, después de un período de trabajo de por lo menos un año.

Al aplicar el modelo anterior se obtiene el resultado siguiente:

3.5 RESUMEN DE FLOTA OPTIMA PARA CADA INSUMO

PERIODO	INSUMO	TASA MINIMA		TASA MAXIMA	
		Barco	Utiliz. Anual	Barco	Utiliz. Anual
1982 a 1985	Fierro	23.200	68%	33.175	48%
	Caliza	27.160	59%	37.355	43%
(1)	Carbón	45.500	100%+(1)	45.500	100%+(1)
(2)	Coque	45.500	100%+(2)	45.500	100%+(2)
1985 Adelante	Fierro	25.025	87%	34.945	62%
	Caliza	27.160	52%	37.355	38%
(3)	Carbón	2 x 45.500	100% + (3)	2x45.500	100%+(3)
	Coque	--	--	--	--

NOTAS: (1) La nave que transporta caliza debe enviarse una vez al año a buscar las 30.000 tons. de carbón restantes.

(2) Quedan 58.050 ton. de coque las cuales deben transportarse en dos viajes de una nave en régimen voyage charter.

(3) La nave que transporta caliza debe enviarse dos veces al año a buscar las 60.000 tons. de carbón restantes.

3.6 FLOTA INTEGRADA DE BUQUES DE TAMAÑO PROMEDIADO

Los barcos óptimos para carbón y coque quedan limitados por el muelle de Huachipato. Los barcos para fierro y caliza tienen una utilización baja y además su tamaño varía de 23.220 a 37.355 según la tasa de carga y el insumo.

Se estudiarán entonces una flota integrada para los insumos: fierro, pellets y caliza tanto para el período 1982-1985 como para el período 1985-1990.

El experto japonés en economía marítima T. Shimojo, sostiene que el transporte de mercancías que copen parcialmente la disponibilidad de bodega en un buque, aún produce beneficio para una carga del 70% de la capacidad de la nave, beneficio que es del orden del 90% de la tarifa del flete.

Se presentan dos alternativas a saber:

ALT. A FLOTA INTEGRADA DE 4 BUQUES EN LOS DOS PERIODOS

1982 - 1985 - 2 buques de 23.000 TDW
- 2 buques de 45.500 TDW

1985 - 1990 - 2 buques de 23.000 TDW
- 2 buques de 45.500 TDW

ALT. B FLOTA INTEGRADA DE 4 BUQUES EN EL PRIMER PERIODO Y DE 3 BUQUES EN EL SEGUNDO PERIODO

Período 1982 - 1985 2 buques de 23.000 TDW
2 buques de 45.500 TDW

Período 1985 - 1990 3 buques de 45.000 TDW

El buque de 23.000 TDW aparece como buque óptimo promediado al subir el porcentaje de utilización sobre el 70% para los insumos de fierro y caliza.

En la alternativa B el tercer buque de 45.500 TDW realiza todo el transporte de fierro y caliza a partir de 1985. Esta resulta ser la flota óptima y se analizará en detalle.

3.7 FLOTA INTEGRADA DE TRES METALEROS DE 45.500 TDW A OPERAR DESDE 1985

En este período no se importa coque, luego los insumos son: carbón , fierro y pellets.

3.71 TRANSPORTE DE CARBON

Los parámetros que intervienen en el análisis del buque carbonero son:

M = Cantidad total de carbón a transportar ..... = 750.000 ton.

M_1 = Cantidad de carbón a transportar anualmente desde Norfolk ..... = 187.500 ton. (25% del total)

M_2 = Cantidad de carbón a transportar anualmente desde Vancouver ..... = 375.000 ton. (50% del total)

M_3 = Cantidad de carbón a transportar anualmente desde la costa este Australiana (25% del total).. = 187.500 ton.

V = 15,5 nudos

N_1 = Tasa de carga en USA (Norfolk) ..... = 8.000 ton/hr.

N_2 = Tasa de carga en Canadá (Vancouver) ..... = 6.000 ton/hr.

N_3 = Tasa de carga en Australia (New Castle) ..... = 6.000 ton/hr.

N_4 = Tasa de descarga en Huachipato ..... = 449 ton/hr.

$\tilde{N}_A$ = Tasa media armónica ponderada de carga y descarga = 839 ton/hr.

$\overline{D}$ = Distancia media aritmética ponderada ..... = 5.945 mill/na.

NUMERO DE BUQUES NECESARIOS

Supónese que el buque tienen carga de retorno y que la tasa de carga y descarga de la mercancía que lleva desde Chile al extranjero es igual a la del carbón.

T_1 = Tiempo en puertos ..... = 8,44 días

T_2 = Tiempo de atraque y desatraque .... = 0,31 días

T_3 = Tiempo de navegación ..... = 31,96 días

T_v = Tiempo de viaje redondo..... = 40,71 días

D.C.A = Días de operación anuales ..... = 350

$$L = \frac{750.000}{42.500 \quad \frac{350}{40,71}}$$

$$L = 2,05$$

Es necesario chartear una nave en régimen voyage charter para transportar las 18.300 toneladas restantes.

En el transporte de carbón la diferencia entre tasas máximas y mínimas es de un día y no es significativa frente a 41 días del viaje.

3.72 TRANSPORTE DE CALIZA, FIERRO Y PELLETS UTILIZANDO TASA MINIMA DE DESCARGA

CALIZA:

Necesidad anual	=	508.000	ton.
Tiempo navegación: $\frac{910x2}{15,5x24}$	=	4,89	días
Tiempo puertos: $\frac{42,500 \text{ x}2}{597 \text{ x } 24}$	=	5,93	días
Tiempo atraque y desatraque	=	0,2	días
Tiempo viaje redondo:	=	11,02	días
Número de viajes requeridos anualmente	=	12	viajes
Tiempo total requerido para portear caliza	=	133	días

FIERRO:

Necesidad anual	=	1.085.000	ton.
Tiempo navegación	=	$\frac{430 \text{ x } 2}{15,5x24}$ = 2,31	días
Tiempo puertos	=	$\frac{42.500x2}{24x1080}$ = 3,28	días
Tiempo atraque y desatraque	=	0,2	días
Tiempo viaje redondo	=	5,79	días
Número total de viajes requeridos anualmente	=	26	viajes
Tiempo total requerido para transportar fierro	=	151	dias

PELLETS DE FIERRO

Necesidad anual	=	452.000	ton.
Tiempo navegación $\frac{515x2}{15,5x24}$	=	2,77	días
Tiempo puertos .. $\frac{42.500x2}{24x1154}$	=	3,07	días
Tiempo de atraque y desatraque	=	0,2	días
Tiempo viaje redondo	=	6,04	días
Número de viajes requeridos anualmente	=	11	viajes
Tiempo total requerido para transportar Pellets de Fe.	=	66	días

Total de días operativos ..... = 133+151+66= 350 días

3.73 TRANSPORTE UTILIZANDO TASA MAXIMA

En el buque que transporta caliza y fierro, para la alternativa de descarga máxima, intervienen los siguientes perímetros:

I T E M	CALIZA	FIERRO	PELLETS	TOTAL DE DIAS OPERATIVOS
Necesidad anual (milaston)	508	1.085	452	
Tiempo de navegación (días)	5,06	2,39	2,86	
Tiempo en puertos (dias)	4,31	2,30	2,34	
Tiempo de atraque y desatraque	0,20	0,20		
Tiempo en viaje redondo	9,57	4,89	5,4	
Viajes anuales	12	26	11	
Tiempo total anual (días)	115	128	60	303

3.74 USO DE REMOLCADOR

Es altamente recomendable el empleo de un remolcador para ayudar al buque en las faenas de arribo y atraque a Guarello, como también en las de desatraque y zarpe.

Los vientos, corrientes y mareas juegan un papel importante en las faenas de atraque y desatraque de grandes buques.

Las corrientes y mareas en Guarello son de poca magnitud pero no así los vientos, que alcanzan fácilmente velocidades de 60 nudos.

La superficie vélica del buque de 45.500 ton. es grande en la condición de desplazamientos en rosca, por lo que su maniobra se ve reducida considerablemente con vientos superiores a Beaufort 5, agravada más aún esta situación por la inefectiva acción del timón a velocidades muy reducidas, necesitando el buque absolutamente la ayuda de un remolcador para maniobrar.

Un remolcador apropiado es el siguiente:

TIPO:

Tractor marino Voith Schneider

L = 25,4 m.	BHP ..... = 1.300
B = 7,7 m.	Bollard Pull .... = 17.500 Kg.
T = 4,0 m.	V máx. libre .... = 11,5 nudos

PRECIO: US$ 1.800.000.- (Ver Anexo D)

3.8 ESTUDIO PRELIMINAR DE LOS COSTOS DE EXPLOTACION

El primer período de cada alternativa es similar y no se incluye más antecedentes respecto al grado de utilización pues en la actualidad están operando naves que transportan un tonelaje levemente superior.

Se comparan entonces, bajo el punto de vista económico ambas alternativas para el período 1985 adelante, pues deberá decidirse si se agregan dos buques de 45.500 TDW a la flota actual o bien, se utilizan 3 nuevos buques de 45.500 y se descartan los buques que ahora realizan el transporte de los insumos para la usina.

3.81 INVERSIONES EN BUQUES

La estimación de las inversiones (precio de la nave) se sustentó en el precio de buques similares.

El coeficiente de eficiencia de la industria aplicable a las economías de escala en construcción naval es de 0,66, por lo tanto, la estimación del precio de los buques integrantes de las flotas alternativas, se efectuó , según la siguiente relación:

$$\left(\frac{Qn}{Q_1}\right)^{\alpha} = \frac{I_n}{I_1}$$

Q_n =Tamaño de nave n.
Q_1 =Tamaño de nave 1.
I_n = Inversión en nave de una escala n.
I_1 =Inversión en nave 1.
α =Coeficiente de economía de escala

FLOTA ALTERNATIVA A (4 buques, 2 x 23.000 + 2 x 45.500)

Precio actual buque 23.000 TDW = US$ 19.113.000.-

Al contemplarse dos naves similares, el precio total se reduce, al multiplicarse por 0,92.

2 buques 23.000 TDW = 19.113.000 x 2 x 0,92
= US$ 35.168.000.-

Precio Actual buque

45.500 TDW = US$ 24.050.000.-

2 buques 45.500 TDW = 24.050.000 x 2 x 0,92
US$ 44.252.000.-

TOTAL INVERSION

FLOTA ALTERNATIVA A (4 buques) = US$ 79.420.000.-

FLOTA ALTERNATIVA B (2 buques, 3 x 45.500)

Precio actual buque
45.500 TDW = US$ 24.050.000.-

Al contemplarse tres naves similares, el precio total se reduce, al multiplicarse por 0,88

Precio actual
3 buques 45.500 TDW = US$ 24.050.000 x 3 x 0,88
Total inversión = US$ 63.492.000.-

FLOTA B

Diferencia a favor de flota B (3 x 45.500)
= US$ 15.928.000.-

3.82 COSTOS

Los costos de explotación del buque, se dividen en costos fijos y en costos variables.

A su vez, los costos fijos se descomponen en costos de capital y costos fijos "corrientes".

Los costos de capital incluyen la depreciación del buque y el beneficio bruto (beneficio neto más impuestos). Ese beneficio se incluye a efectos de calcular el costo de servicio al cliente, computado en base a un tipo de interés interno razonable, es decir,

que el tipo de interés interno bruto de la inversión debe ser suficiente para cubrir los impuestos y obtener una tasa de rentabilidad neta que supere no sólo al interés del dinero, sino también al rendimiento del mercado.

Los costos fijos "corrientes" se refieren a todos aquellos en que es necesario incurrir -juntos con los costos de capital- para mantener el barco en condiciones de navegar en un momento dado cualquiera.

Abarcan por consiguiente, los renglones referentes al personal, mantenimiento y reparaciones, seguros, consumos líquidos y gastos generales, pudiendo descomponerlos en las siguientes partidas:

1. COSTOS DE PERSONAL

   - Sueldos y salarios
   - Previsión social
   - Prevención de riesgos (elementos para).
   - Provisiones

2. COSTOS DE MANTENIMIENTO Y REPARACIONES

   - Utillaje
   - Mantenimiento rutinario
   - Reparaciones anuales
   - Provisión visita cuatrienal

3. COSTOS DE SEGURO

   - Casco y Máquinas
   - Riesgo de Guerra
   - Protección e Indemnización

4. COSTOS DE CONSUMOS LIQUIDOS

   - Combustible (parte común, tanto navegando como en puerto)
   - Lubricante (idem)
   - Agua (idem)

5. COSTOS GENERALES

   (Gastos de agencia, comunicaciones, costos de personal de tierra, vehículo, etc.)

   Los costos variables son función del viaje, por lo que suelen también, agruparse bajo de la rúbrica costo de viaje.

Estos se clasifican en costos de consumos líquidos (proporcionales), costos de puerto, y costos de carga, descarga y estiba y desestiba: desglosándose cada uno de ellos en las siguientes partidas:

6. COSTOS DE CONSUMOS LIQUIDOS

- Combustibles
- Lubricantes
- Agua

7. COSTOS DE PUERTO

(pilotaje, remolcador, amarra/desamarra, derechos molo, etc.).

8. COSTOS DE CARGA/DESCARGA, ESTIBA/DESESTIBA

(traslado de la mercancía desde las canchas de almacenamiento al costado del buque en el puerto de origen, operación de carga propiamente tal, estiba de la mercancía en el buque, desestiba de las mercancías a bordo en el puerto de destino, operación de descarga propiamente tal, traslado de la mercancía desde el costado de la nave a las canchas de almacenamiento).

Según el anexo c,

$$C_f = a \cdot \Delta^{2/3}$$

C_{f_1} = Costo fijo buque 23.000 TDW.

C_{f_2} = Costo fijo buque 45.500 TDW

a = Coeficiente de proporcionalidad

Costo fijo = $9 \div 10$ $\frac{US\$}{día\ ton}$

FLOTA A. (4 buques, 2 x 23.000 + 2 x 45.500)

Costo fijo diario = $C_f = a \ \Delta^{2/3}$

C_{f_1} = 10,0 x 924 = US$ 9.240.-

C_{f_2} = 9,5 x 1.444 = US$ 23.718.-

COSTO FIJO ANUAL PARA CADA BUQUE

C_{f_1} = 9.240 x 365 = US$ 3.373.000.-

C_{f_2} = 13.718 x 365 = US$ 5.007.000.-

Total Costo Fijo Anual de la Flota A (2 buques 23.000 TDW y 2 buques 45.500 TDW).

3.373.000 x 2 = US$ 6.746.000.-

5.007.000 x 2 = US$ 10.014.000.-

Total ..... US$ 16.760.000.-

FLOTA 3 (3 buques 45.500.- TDW)

Costo fijo diario = C_f = a $\Delta^{2/3}$

C_f = 9,25 x 1.444 = US$ 13.357.-

Costo fijo anual por cada buque

C_f = 13.357 x 365 = US$ 4.875.000.-

Total Costo Fijo Anual de la Flota B (3 buques de 45.500 TDW)

4.875.000 x 3 = US$ 14.625.000.-

Como sólo las diferencias son importantes para la elección entre alternativas, los gastos que no contribuyen a esa diferencia no se consideran. Por lo que, sólo se compararán los dos buques de 23.000 TDW frente al de 45.500 TDW.

COSTO DE CONSUMOS LIQUIDOS

ALTERNATIVA A (2 buques 23.000 TDW)

Consumo combustible diario	= 38 ton/día
Consumo combustible anual (2 buques) 304 x 38	= 11.552 ton/año
Precio combustible: US$ 215.- ton	
costo combustible anual (2 buques)	= US$ 2.484.000.-
5% margen (aceite, agua)	= US$ 124.000.-
Total consumos líquidos anuales	= US$ 2.608.000.-

ALTERNATIVA B (1 buque 45.500 TDW)

Consumo combustible diario	:	53 ton/día
Consumo combustible anual	:	
155 x 53	=	8.215 ton/año
Precio combustible	=	US$ 215 ton.
Costo combustible anual ...	=	US$ 1.766.000.-
5% margen (aceite, agua) ..	=	US$ 88.000.-
Total consumo líquidos anuales	=	US$ 1.854.000.-

3.83 COMPARACION DE COSTOS

Al haber sido imposible obtener información relacionada con los costos de puerto, la comparación de las alternativas se realizará en base al costo por tonelada transportada, pero sin considerar los derechos de puerto. De todas maneras, el resultado que arroja el indicador económico es confiable y permite evaluar.

COSTO COMPARATIVO TOTAL

a. 2 buques 23.000 TDW (flota A)

- Costos fijos anuales	US$ 6.746.000.-
- Costo consumos líquidos anual	US$ 2.608.000.-
- Total costos de explotación anuales (sin incluir costos de puertos).	US$ 9.354.000.-

b. 1 buque 45.500 TDW (flota B)

- Costos fijos anuales	US$ 4.875.000.-
- Costo consumos líquidos anuales	US$ 1.854.000.-
- Total costos de explotación anuales (sin incluir costos de puertos)	US$ 6.729.000.-

COSTO COMPARATIVO POR TONELADA DE MINERAL

a. 2 buques 23.000 TDW (flota A)

$$CCTMA = \frac{9.354.000.-}{2.045.000.-}$$

CCTM = 4,57 US$/Ton.

b. 1 buque 45.500 TDW (flota B)

$$CCTM = \frac{6.720.000}{2.045.000}$$

CCTM 3,29 US$/ton.

c. $\% = \frac{3,29}{4,57} \times 100 = 72\%$

Como puede apreciarse, la flota B, que considera 1 buque de 45.500 TDW para mineral de Fierro, pellets y caliza, tiene un costo por tonelada de mineral transportado 39% menor que el costo correspondiente a la operación de los buques de 23.000 TDW. Estos últimos tienen además, una utilización anual promedio de 79% solamente.

Existe un ahorro anual neto a favor del buque de 45.500 TDW de US$ 2.625.000, sin incluir los costos de puerto, los cuales aumentan esta diferencia.

En economía marítima es corriente considerar en 18 años la vida económica útil de los mineraleros, entonces es fácil apreciar la magnitud del ahorro que significa la flota constituída por tres naves de 45.500 TDW en lugar de dos naves de 45.500 TDW y dos de 23.000 TDW o similares a las [illegible].

3.9 RECOMENDACIONES

Recomiéndase enfáticamente la flota integrada por tres buques de 45.500 TDW, para el transporte de los diversos insumos minerales de la Planta Siderúrgica, debido a la superioridad evidente desde el punto de vista técnico-económico-administrativo.

Lo anterior es válido a partir de 1985, tanto si se utiliza la tasa de mínima de descarga como la tasa máxima.

Si se considera que la probabilidad de cumplirse las tasas mínimas es de 66%, y la de las máximas de 33%, el promedio de días operativos del buque de cabotaje sería de 333 días (0,33 x 303 + + 0,66 x 350), por lo tanto la velocidad a considerar definitivamente debería ser 15,3 nudos.

CONCLUSIONES

1. El transporte del carbón y coque que se iniciará a partir de 1982, requiere buques de 45.500 TDW, el máximo admisible en el muelle. El tamaño óptimo para este transporte es de 88.000 TDW pero es evidente, en el informe, que este buque no puede atracar al muelle de la Usina.

2. Para recibir el barco máximo, es necesario dragar a la brevedad toda el área de maniobras, proteger con tablestacado submarino el pié de los pilotes junto a la línea de atraque del costado Norte del muelle y reforzar las cadenas del sistema de defensa.

3. El transporte de caliza, mineral de Hierro y Pellets puede continuar realizándose en forma similar a la actual hasta 1984, aunque la mejora en las tasas de descarga no sea aprovechada completamente.

4. El transporte de insumos nacionales a partir de 1985, resulta más económico hacerlo en un buque de 45.500 TDW. que en los dos actuales; aunque ésto signifique una fuerte inversión Cuarello, los cuales comprenden: muelle y torre cargadora nuevos y un remolcador.