

OCEANO 2000
II CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERIA OCEANICA

**INFLUENCIA DE LOS PARAMETROS GENERALES DEL BUQUE EN SUS
CARACTERISTICAS DE MANIOBRABILIDAD**

Autores: Francisco Pérez Arribas (*)
Ricardo Zamora Rodríguez (**)

ABSTRACT

A pesar de los cada vez más sofisticados medios de ayuda a la navegación y de detección de otros buques o elementos extraños dentro de su trayectoria, es evidente que los riesgos de colisión o varada no son en absoluto despreciables. Un accidente de cualquier tipo puede redundar no sólo en el daño sufrido por la carga o en el tiempo perdido en reparaciones del buque en dique, sino que puede llevar a la pérdida del mismo y hasta consecuencias más graves, y por desgracia más frecuentes en nuestros días, como es el grave desastre ecológico en la zona en que se produce el accidente, caso del transporte de crudos, derivados del petróleo o productos químicos. En resumen, elevadas cifras monetarias, y riesgo para las vidas humanas.

Entre las causas de accidentes figuran en primer lugar los choques (colisiones, varadas...). Como es lógico, un cierto número de los accidentes son debidos a errores humanos o a causas inevitables, pero según distintos estudios, un alto porcentaje de ellos podrían haberse evitado si el buque hubiera estado dotado de unas mejores cualidades de maniobrabilidad.

En este paper se verá como afectan a las cualidades de maniobrabilidad distintos parámetros fundamentales del buque, analizando la maniobrabilidad a partir de métodos numéricos desarrollados en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales, y que pueden ayudar al ingeniero naval en las primeras etapas de proyecto en un campo como es el de la maniobrabilidad, poco tratado en las etapas de diseño.

(*) Profesor Asociado, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales (ETSIN) de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM), Canal de Ensayos Hidrodinámicos, área de dinámica del buque.

(**) Profesor Titular, ETSIN, UPM, Canal de Ensayos Hidrodinámicos, área de dinámica del buque.

1. IMPORTANCIA DE LA MANIOBRABILIDAD

A pesar de los cada vez más sofisticados medios de ayuda a la navegación y de detección de otros buques o elementos extraños dentro de su trayectoria, los riesgos de colisión o varada de los buques aún existen. Un accidente de cualquier tipo puede producir no sólo daño para la carga o tiempo perdido en reparar el buque en dique, sino que puede llevar a la pérdida del mismo y hasta tener consecuencias igual de graves, y por desgracia más frecuentes en nuestros días, como es el desastre ecológico en la zona en que se produce el accidente, como es el caso del transporte de crudos, derivados del petróleo o productos químicos.

Todo esto se traduce en elevadas cifras monetarias a tener en cuenta a la hora de considerar la explotación del buque en un determinado tráfico y la aparición del riesgo para las vidas humanas, tanto la tripulación del propio buque como para personas externas a éste, y el medio marino.

Entre las causas de accidentes figuran en primer lugar los choques (colisiones con otros buques, varadas...) con un 40% del total de buques accidentados. Como es lógico, un cierto número de los accidentes son debidos a errores humanos o a causas inevitables, pero según un estudio realizado por encargo de la U.S. Coast Guard /MIL81/ sobre los accidente producidos en la década de los 70, más de 800 casos, alrededor del 35%, podrían haberse evitado si el buque hubiera maniobrado de forma más adecuada a las circunstancias.

Sin llegar a las dramáticas consecuencias antes expresadas, existe otro problema de gran importancia relacionado con la explotación del buque, y en concreto con la rentabilidad del mismo. Generalmente el buque está destinado a moverse la mayor parte de su vida en línea recta, y por eso es lógico elegir las dimensiones principales en el anteproyecto de forma que se optimice la propulsión y a la resistencia al avance.

Ciertos buques poseen una gran tendencia a abandonar la trayectoria rectilínea ante una pequeña perturbación. Se dice que presentan inestabilidad de ruta. Con objeto de que el rumbo sea el deseado, es preciso actuar entonces sobre el timón frecuentemente y con ángulos de timón excesivamente grandes. El buque avanzará entonces con una trayectoria de tipo sinusoidal o zig-zag, más o menos acusada en función de la tendencia que tenga a perder el rumbo.

El tener el timón metido unos grados a una banda causa un aumento de la resistencia al avance del buque y si este realiza guiñadas apreciables, el efecto se hace de mayor importancia. Lógicamente el camino recorrido es más largo debido al abandono de la trayectoria rectilínea.

La consecuencia final es que aparte del excesivo desgaste al que se puede someter al sistema de gobierno con el consiguiente aumento de consumo por parte del mismo, la velocidad media de servicio es menor pudiéndose llegar a contrarrestar las pequeñas mejoras alcanzadas en la velocidad por un estudio cuidadoso del bulbo de proa, una mejora en la estela, o un sofisticado estudio de la hélice. En definitiva, el consumo de combustible aumenta y la rentabilidad disminuye si la maniobrabilidad es mala.

El buque considerado como elemento de transporte de mercancías o pasajeros debe cumplir unos requisitos operacionales, es decir, desarrollar una determinada misión en unas determinadas condiciones ambientales. Si no cumple adecuadamente estos requerimientos se tendrá una baja calidad del buque en cuanto a la misión que tiene que cumplir, y se puede llegar en algunos casos a la incapacidad para realizar dicha misión. Una patrullera por ejemplo debe ser capaz de maniobrar con agilidad a alta velocidad, un pesquero debe ser capaz de faenar en un caladero y un remolcador de desenvolverse con soltura cerca de los buques sobre los que actuará.

Todas las consideraciones anteriores sobre la capacidad para maniobrar de un buque, no son nuevas ni desconocidas. Sin embargo, no suelen ser tomadas en cuenta en la elección de las

dimensiones principales que influyen poderosamente en la maniobrabilidad y en la facilidad de gobierno. Ciertos organismos internacionales han puesto requisitos sobre maniobrabilidad para evitar accidentes.

Así por ejemplo la U.S. Coast Guard exige desde los finales de los 70 a los buques que van a atracar en puertos norteamericanos unos gráficos en el puente con las características de maniobrabilidad del mismo. La I.M.O. impone unos límites para ciertos parámetros de las maniobras, como puede ser el avance y el diámetro táctico en la maniobra de giro, o el ángulo de rebasamiento en la maniobra de zig-zag. Veremos en los puntos siguientes un recordatorio de los conceptos y nomenclatura relacionados con la maniobrabilidad, basados en la teoría enseñada por el Dr. Antonio Baquero en algunas de sus publicaciones /BAQ82/.

2. CONCEPTOS SOBRE MANIOBRABILIDAD

A continuación se hará un breve recordatorio sobre los conceptos y la nomenclatura, haciendo referencia a las cualidades de maniobrabilidad, a los índices numéricos correspondientes y a las maniobras definitorias.

2.1 Cualidades de maniobrabilidad

Las principales cualidades de maniobrabilidad que debe tener un buque pueden englobarse en las siguientes:

- a) **Facilidad de evolución:** es la capacidad de realizar una maniobra con un fuerte ángulo de cambio de rumbo (de al menos 180°) en un espacio reducido. Normalmente se utilizan grandes ángulos de timón. Las maniobras de faena de pesqueros y remolcadores están incluidas en esta cualidad, que por tanto está relacionada con la operatividad del buque.
- b) **Estabilidad de ruta:** es la capacidad para mantener al buque en un rumbo determinado. Esta cualidad es tanto mejor cuanto menor sea la actividad requerida al timón, tanto en amplitud, como en frecuencia. Está relacionada con la explotación del buque, pues una mala estabilidad de ruta significa una pérdida de velocidad media, debido a que aumenta la distancia recorrida.
- c) **Facilidad de cambio de rumbo:** es la capacidad para cambiar de ruta o trayectoria en el menor espacio y con la mayor rapidez posible. Por tanto es una cualidad relacionada con la facilidad de evolución (espacio reducido) y con la de estabilidad de ruta (rápida respuesta al timón). La aplicación de esta cualidad reside en su relación con las maniobras anticolidión y por tanto con la seguridad de buque en navegación.

2.2 Maniobras definitorias.

La mayor o menor bondad del buque en cuanto a maniobrabilidad se refiere puede ser evaluada mediante unas pruebas en las que se obliga al buque o a un modelo del mismo a realizar ciertas maniobras durante las cuales se toman mediciones que convenientemente analizadas suministran datos representativos de las anteriormente citadas cualidades. Las maniobras más importantes son las siguientes:

- a) **Maniobra de giro:** consiste en, con el buque en rumbo y velocidad constantes marcha avante, meter la caña un cierto ángulo y dejar que el buque realice un círculo hasta que el rumbo cambie por lo menos 540°. Se recoge la trayectoria del buque y sobre ella se miden las siguientes magnitudes (Figura 2.1):

- Diámetro de giro.
- Avance: distancia recorrida hasta que cambia su rumbo en 90°.

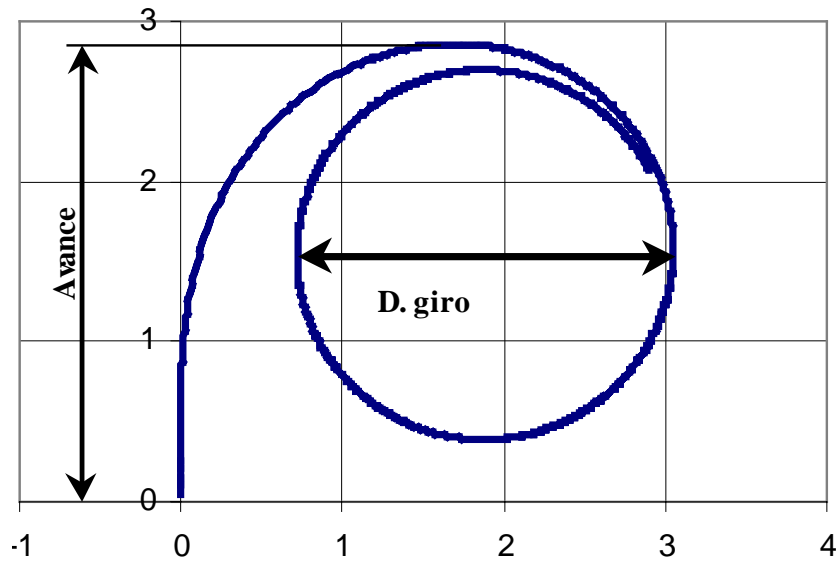


Fig. 2.1: Maniobra de giro.

b) Maniobra de Zig-Zag: se realiza metiendo un cierto ángulo el timón δ_0 y esperar a que el ángulo de rumbo se haga igual a δ_0 (por lo general 10° y 20°), momento en el cual se lleva ese mismo ángulo pero a la banda contraria hasta que el buque vuelva a alcanzar otra vez este ángulo (Fig. 2.2). De esta maniobra se derivan los conceptos de numero P de Norrbín, que se define como el ángulo de rumbo girado por unidad de ángulo de timón empleado, cuando el buque ha recorrido una distancia igual a la eslora desde la medida de caña, y el ángulo de rebasamiento u Overshoot

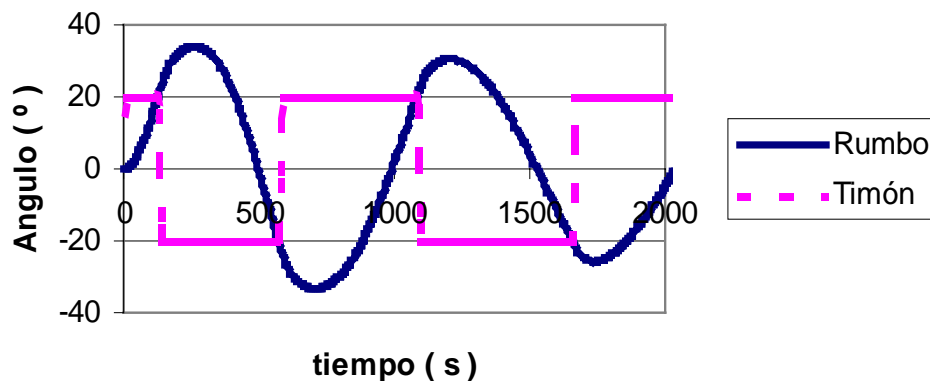


Fig. 2.2: Maniobra de Zig-Zag $20^\circ/20^\circ$.

c) Maniobra de espiral: la forma de realización es la siguiente:

- Inicialmente con rumbo y velocidad constantes se mete el timón a una banda un cierto ángulo (normalmente 15° Er) y se mantiene en dicha posición hasta que se alcanza una velocidad de giro uniforme durante un minuto.
- Se reduce el ángulo del timón en 5° y se espera hasta conseguir que la velocidad de giro sea constante, y así sucesivamente. Entre 0° y 5° es mejor variar el ángulo del timón de grado en grado para tener mejor definida la zona en las proximidades del ángulo 0.

- Se repite la secuencia anterior realizándose desde los 15° iniciales a una banda, hasta los 15° a la otra banda y se vuelve a empezar, pero metiendo el timón a la banda contraria que al principio (Br).

A partir de los datos medidos en esta maniobra se puede representar la velocidad de giro en función del ángulo del timón, pudiéndose presentarse dos casos: si el buque es estable, para cada ángulo de timón existe un solo valor de la velocidad de giro en régimen permanente, y la curva velocidad de giro-ángulo del timón es una curva simple.

En cambio para un buque inestable se presenta un ciclo de histéresis y, para ángulos próximos a cero, existen dos valores posibles de la velocidad de giro, uno positivo y otro negativo. Además existe una zona interior en el ciclo de histéresis en los que el “equilibrio” es inestable, y por tanto, no se puede mantener la velocidad de giro.

En la figura 2.3 se representa la curva de velocidad de giro-ángulo de timón, que en este caso posee un ciclo de histéresis. En la figura 2.4 figura la curva anteriormente descrita, pero para un buque direccionalmente estable, es decir, sin ciclo de histéresis.

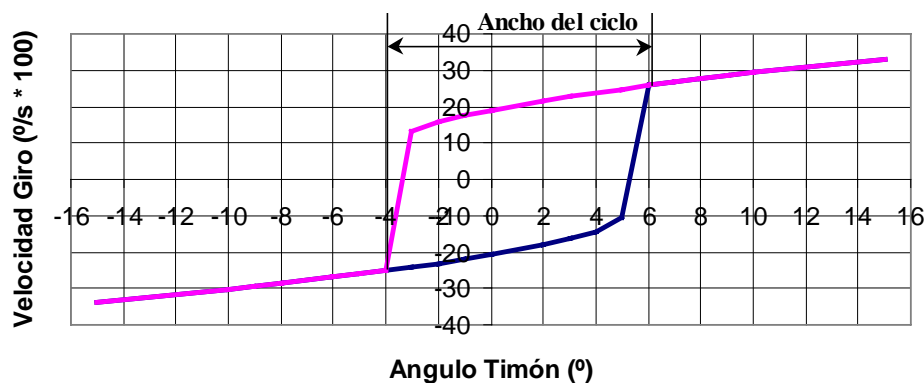


Fig. 2.3: Curva de velocidad de giro-ángulo de timón para un buque estable

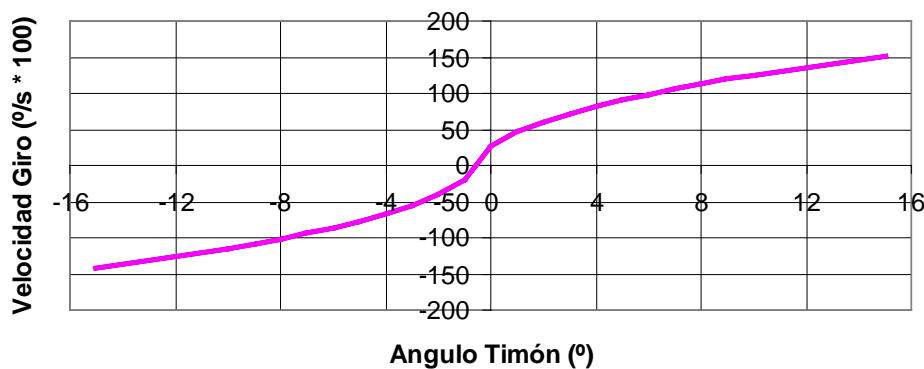


Fig. 2.4: Curva de velocidad de giro-ángulo de timón para un buque estable.

La inestabilidad puede medirse por las dimensiones del ciclo de histéresis. Cuanto más grande sea el ciclo, más inestable es el buque. La anchura la determina el margen de variación del ángulo del timón, en el que el buque puede girar en contra de lo que cabría esperar del ángulo que se ha dado a la caña del timón, y también da el ángulo mínimo del timón que debe darse para asegurarse de que el buque obedece.

2.3 Medida de las cualidades de maniobrabilidad.

Las cualidades de maniobrabilidad pueden evaluarse cuantitativamente ya que están relacionadas directamente con algunas de las magnitudes que se miden en las maniobras definidas en el punto anterior. Las relaciones entre dichas cualidades y las magnitudes que mejor las representan son las siguientes:

Facilidad de evolución => diámetro de giro.

Estabilidad de ruta => anchura del ciclo de histéresis.

Facilidad de cambio de rumbo => avance y numero P

Tanto el avance como el diámetro de giro salen de maniobras con 35° de ángulo de timón. El número P suele obtenerse de maniobras de zig-zag con ángulos moderados de rumbo y timón, dado que su valor no difiere mucho si se obtiene de unas maniobra u otra. En las figuras 2.5 y 2.6, representan las trayectorias seguidas por el buque durante las maniobras de espiral, en el caso un buque estable (Fig. 2.5) y de un buque inestable (Fig.2.6).

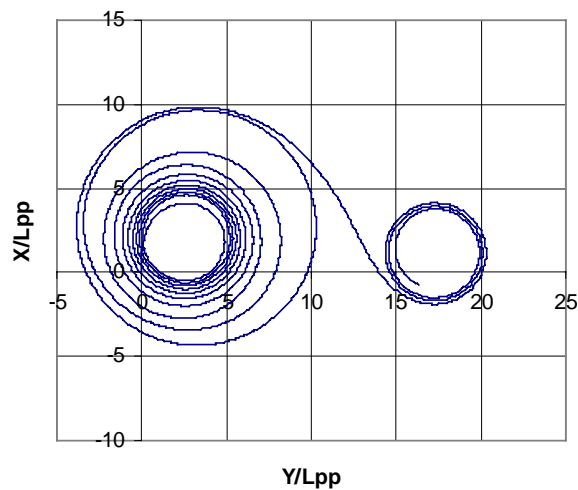


Fig. 2.5: Maniobra de espiral de un buque de inestable.

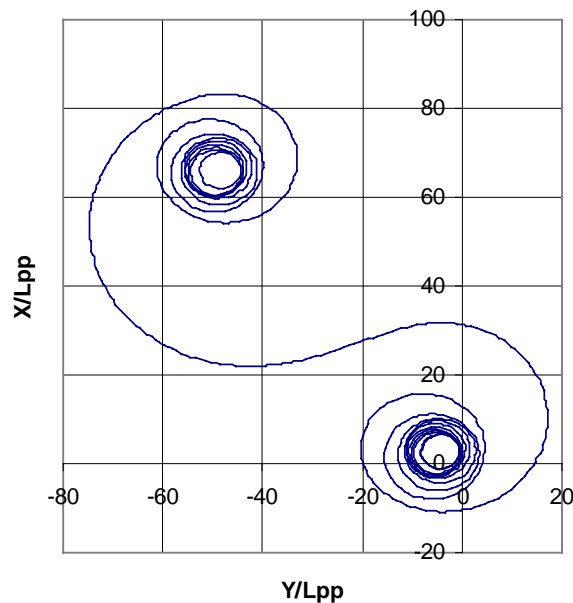


Fig. 2.6 Maniobra de espiral de un buque estable.

3. ECUACIONES QUE DEFINEN LA MANIOBRABILIDAD

Tomaremos por hipótesis que la maniobrabilidad es un fenómeno bidimensional. Definiremos lo primero un sistema de coordenadas de acuerdo con la figura 3.1, en la que existe un sistema de referencia fijo (X,Y) y uno móvil (x,y) cuyo origen está en el centro de gravedad del buque, respecto del cual supondremos que se produce el giro de guiñada (Yaw). En el sistema de referencia móvil, el eje x lleva la dirección longitudinal del buque, positivo hacia proa, y el eje y una dirección perpendicular a crujía, positivo a estribor. En ambos sistemas de coordenadas los ángulos son positivos si se toman en sentido horario.

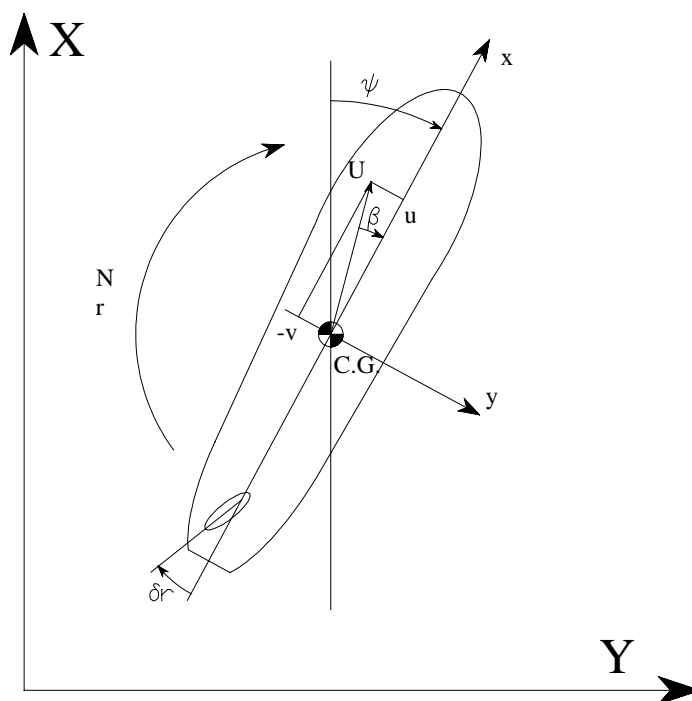


Fig. 3.1 Sistemas de referencia, elegidos.

En la figura 3.1, U representa la velocidad real del buque, que se descompone en el sistema móvil en una velocidad u (avance o surge) a la que avanzará el buque, y otra transversal v (velocidad de través o de sway). Por efecto del timón el buque también llevará una velocidad de giro r (velocidad angular de guiñada, o yaw) respecto a un eje z perpendicular al plano XY , por el centro de gravedad. El ángulo β formado por la velocidad U con el eje de avance x , se llama deriva o drift. El ángulo ψ es el rumbo que lleva el buque y δr es ángulo de la caña del timón.

Una vez que hemos definido el sistema de referencia, pasemos a ver las fuerzas que actúan sobre el buque, que hemos considerado como un sólido rígido dotado de tres grados de libertad, avance, través y guiñada, modelización adecuada para tratar las maniobras y cualidades descritas en el punto 2. Los otros tres grados de libertad, roll (balance), pitch (cabecceo) y heave (arfada) no tienen gran importancia en la maniobrabilidad a velocidades convencionales; no obstante, la escora producida por el balance empieza a tener importancia en la maniobrabilidad de buques a alta velocidad.

Las ecuaciones de maniobrabilidad de acuerdo a los tres grados de libertad anteriormente citados y en el sistema móvil de referencia de la figura 3.1, que no son sino una particularización de la ecuación de Newton, toman la siguiente forma:

$$Surge : m \cdot (u - vr) = X_H + X_P + X_R$$

$$Sway : m \cdot (v + ur) = Y_H + Y_P + Y_R$$

$$Yaw : I_Z \cdot r = N_H + N_P + N_R$$

Ec. 3.1

Los subíndices significan: H: casco, P: propulsor y R timón. X, Y y N son respectivamente las fuerzas y momentos en el caso de la guiñada, según las direcciones de los ejes x , y y z . Un breve análisis de las fuerzas que aparecen en la ecuación 3.1, nos diría que:

- X_H sería la fuerza que ejerce el casco en la dirección de x , es decir la resistencia al avance a la velocidad u de avance.
- X_P será la fuerza que ejerce el propulsor en la dirección de x o el empuje del propulsor a la velocidad de avance u afectado por la velocidad de giro r , que afectará al flujo que entra al propulsor y por tanto al coeficiente de estela.
- X_R será la fuerza del timón según la dirección de avance o drag del timón, que se obtendrá descomponiendo la fuerza normal a la cara del timón en la dirección del eje x .
- Y_H será la fuerza (amortiguamiento) del casco según la dirección del eje y .
- Y_P será la fuerza transversal ejercida por la propulsión.
- Y_R será la fuerza perpendicular a la cara del timón, descompuesta según la dirección del eje y .
- N_H momento ejercido por Y_H respecto al centro de gravedad del buque.
- N_P momento ejercido por Y_P respecto al centro de gravedad del buque.
- N_R momento ejercido por Y_R respecto al centro de gravedad del buque.

En la ec. 3.1 no se han tenido en cuenta las condiciones ambientales (corrientes, olas y viento). Las derivadas son respecto al tiempo y los sumandos de vr y ur representan la aceleración centrífuga.

4. MODELO EMPLEADO PARA ESTUDIAR LA MANIOBRABILIDAD

En este punto se describirá el método seguido para calcular la maniobrabilidad de los buques a partir de sus parámetros principales. Se vió en la Ec. 3.1 el sistema que hay que resolver y se verán cada una de las ecuaciones por separado.

4.1 Ecuación axial

$$(m + m_x) \cdot u + (m + m_{vr}) \cdot vr = X(H) + X(P) + X(R)$$

- $X(H) = - \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot C_T \cdot u^2$ (*Resistencia al avance del buque*).
 - ρ : densidad
 - S : superficie mojada.
 - C_T : coeficiente de resistencia a la velocidad de avance. Dada la aproximación, se le supondrá constante para el rango de variación de la velocidad durante la maniobra.

- $X(P) = (1-t) \cdot \rho \cdot n^2 \cdot D_p^4 \cdot K_T$ (*Empuje del propulsor*)
 - n : revoluciones del propulsor
 - t : coeficiente de succión.
 - D_p : diámetro del propulsor.
 - K_T : coeficiente de empuje de la hélice, que se puede expresar en función del grado de avance del propulsor ($J = \frac{(1-w_p) \cdot u}{n \cdot D_p}$) como una parábola que se aproxima por mínimos cuadrados a partir de la curva original: $K_T = C_1 + C_2 \cdot J + C_3 \cdot J^3$. Este coeficiente K_T puede obtenerse de una serie sistemática como la B de Wageningen.
 - w_p = coeficiente de estela del propulsor, que es modificada por los efectos del giro según veremos en el último apartado “Fuerza normal a la cara del timón”.

- $X(R) = - (1 - t_R) \cdot F_N \cdot \text{Sen}(\delta)$ (*Efecto del timón*)
 - t_R : coeficiente de succión (Drag) del perfil del timón. Este coeficiente puede ser aproximado por la referencia /KIJ93/:
 - F_N : fuerza normal en el timón, que se estudiará al final del punto.
 - δ : ángulo del timón.

Los términos que multiplican a las aceleraciones, m_x y m_{vr} son lo que se denominan masas añadidas, siendo la primera la masa añadida en la dirección de avance, y la segunda, una masa añadida cruzada que recoge el efecto del giro respecto al eje z sobre el desplazamiento lateral. Los valores de estas masas se obtienen según /PRI89/.

4.2 Ecuación lateral

$$(m + m_y) \cdot v + (m + m_{vr}) \cdot ur = Y(H) + Y(R)$$

De m_y , masa añadida al desplazamiento lateral, se ha hablado en la ecuación axial, y se calcula según /ANK87/:

- $Y(H) = Y_B \cdot \beta + Y_r \cdot r' + Y_{BB} \cdot \beta \cdot \beta + Y_{rr} \cdot r' \cdot r' + Y_{Br} \cdot \beta \cdot r' + Y_{rB} \cdot r' \cdot \beta + Y_{BBr} \cdot \beta \cdot \beta \cdot r'$

Ecuación que representa los *efectos del casco*, según /KIJ90/:

Los coeficientes de la ecuación van multiplicados por $\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot T \cdot L_{pp} \cdot U^2$ para darles dimensiones, β es el ángulo de deriva (Fig. 3.1), y r' es la velocidad angular de giro adimensionalizada $r' = r \cdot L_{pp} / U$, siendo U la velocidad.

- $Y(R) = - (1+a_h) \cdot F_N \cdot \text{Cos}(\delta)$ (*Efectos del timón*)

En esta fórmula, F_N es la fuerza normal en el timón y a_h es un coeficiente que recoge la interacción entre el casco y el timón, es decir la fuerza de reacción ejercida por el casco ante la fuerza que le transmite la mecha del timón /KIJ93/.

4.3 Ecuación de giro

$$(I_{zz} + i_z) \cdot r = N(H) + N(R)$$

i_z es el momento de inercia añadido que se calcula según /ANK87/:

- $N(H) = N_B \cdot \beta + N_r \cdot r' + N_{BB} \cdot \beta \cdot |\beta| + N_{rr} \cdot r' \cdot |r'| + N_{Brr} \cdot \beta \cdot r' \cdot r' + N_{BBr} \cdot \beta \cdot \beta \cdot r'$

Ecuación que representa los *efectos del casco*, según /KIJ90/:

Los coeficientes de la ecuación van multiplicados por $\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot T \cdot L_{pp}^2 \cdot U^2$ para darles dimensiones.

- $N(R) = - (1+a_h) \cdot X_{rg} \cdot F_N \cdot \text{Cos}(\delta)$ (*Efectos del timón*)

En esta fórmula, F_N es la fuerza normal en el timón y X_{rg} es la distancia entre el timón y el centro de gravedad del buque. Esta $N(R)$ es el momento de las fuerzas del timón que aparecen descritas en la ecuación del movimiento lateral, respecto al centro de gravedad. En esta ecuación se ha supuesto que la fuerza de interacción entre el casco y el timón está aplicada en la mecha del timón.

4.4 Fuerza normal a la cara del timón

La fuerza normal a la cara del timón suele expresarse como:

- $F_N = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_L \cdot A_R \cdot V_R^2 \cdot \text{Sen}(\alpha_R)$
 - C_L : coeficiente de sustentación (Lift) del timón y que depende del tipo de perfil que se haya seguido para su diseño, generalmente un perfil tipo NACA.
 - A_R = área efectiva del timón.
 - V_R = velocidad de entrada del flujo al timón. Su cálculo se puede hacer, a falta de ensayos mediante la referencia /KIJ90/. Este termino depende de la interacción entre casco, propulsor y timón dependiendo de las características de la hélice, del timón y del coeficiente de estela, y tiene gran importancia en la efectividad del sistema de gobierno al actuar elevado al cuadrado.
 - α_R : ángulo de entrada efectivo del flujo al timón. Debido a la variación del ángulo de entrada del flujo al timón durante la maniobra, el ángulo del timón δ ha de corregirse para que recoja el efecto de la maniobra y se transforma en α_R .

5. EFECTO DE LOS PARAMETROS PRINCIPALES EN LA MANIOBRABILIDAD

Para estudiar como afecta un cambio en alguno de los parámetros principales en la maniobrabilidad del buque, se ha aplicado el modelo de maniobrabilidad anteriormente descrito a un buque Ferry de alta velocidad, que se ha estudiado en el proyecto de investigación I+D B-09 firmado entre Astilleros Españoles y la Universidad Politécnica de Madrid, y desarrollado en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales de Madrid.

El buque es un Ferry de las siguientes características:

Lpp =	173.0	m
Lwl =	174.8	m
B =	26.0	m
T =	6.5	m
V =	28	nudos
kW =	4 x 12600	kW
P.M. =	4500	Tm
PAX =	1500	Pax.

El buque está dotado además de dos líneas de ejes y dos timones con una superficie cada uno de 18.9 m^2 y una altura de 5.3 m cada uno. Sus hélices son de 5 m de diámetro. Una caja de cuadernas del buque puede verse es la figura 5.1

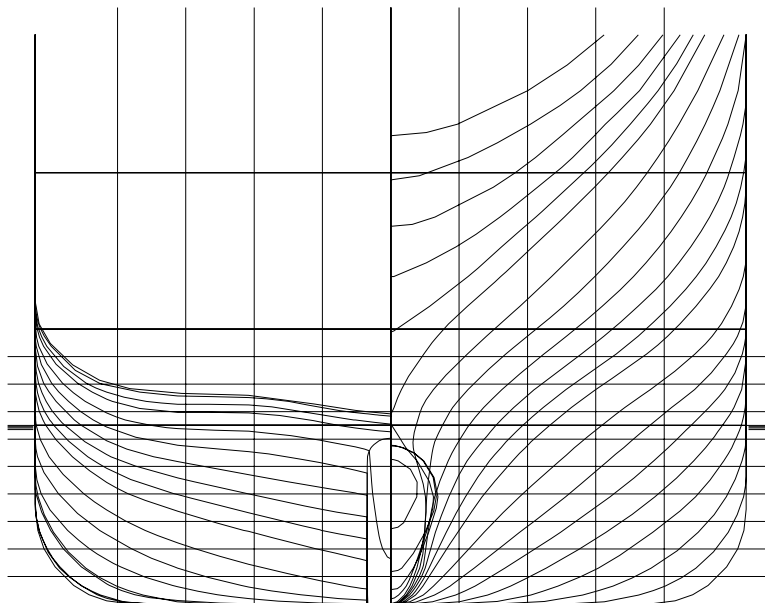


Fig. 5.1 Cuadernas del buque empleado en los cálculos

En este caso, las variaciones a los parámetros principales que se ha decidido aplicar mantienen el desplazamiento del buque constante y por tanto el peso muerto, variable importante en cualquier tipo de buque. La carena se ha variado mediante transformaciones afines. Las maniobras que se han estudiado han sido la maniobra de giro con un ángulo de timón de 35° , que suele ser normalmente el máximo para el que se diseña el sistema de gobierno, y la de Zigzag 20° , ambas descritas en el punto 2. Ambas maniobras se estudian con trimado nulo.

Se ha variado además el área del timón para ver el efecto comparado de modificar parámetros globales de las formas del buque, con parámetros relacionados exclusivamente con la maniobrabilidad como es el área del timón. Para cada una de las variaciones efectuadas, se calcula

numéricamente la resistencia al avance de la nueva carena y se rediseña la propulsión, haciendo lo primero mediante el método de Holtrop 84 que se adapta a las características del buque, y lo segundo diseñando los propulsores mediante la serie sistemática BB de Wageningen. Es decir cada una de las variaciones se estudia como si se tratara de un nuevo buque.

Las variaciones efectuadas han sido las siguientes:

- 1) Buque original sin modificar
- 2) + 5% Manga y - 5% Calado
- 3) - 5% Manga y + 5% Calado
- 4) + 5% LCB (a proa)
- 5) - 5% LCB (a popa)
- 6) + 5% Area timones
- 7) - 5% Area timones

Las variaciones elegidas no tienen en cuenta la variación de la eslora del buque por ser la variable más cara para variar en un buque. Se recuerda que todas las transformaciones de la carena se han hecho a desplazamiento constante mediante transformaciones afines y que el buque se estudia para cada situación con trimado nulo. En las gráficas de las maniobras de giro las abscisas y ordenadas van adimensionalizadas con la eslora entre perpendiculares.

5.1 Efecto de la manga y calado

De las figuras 5.2 y 5.3, se ve que el aumentar la manga y disminuir un calado tiene un efecto positivo en la maniobra de giro del buque pues se reduce el avance y el diámetro de giro (Fig. 5.2). El efecto de las variaciones efectuadas en la maniobra de zig-zag 20 es de menor importancia (Fig.5.3).

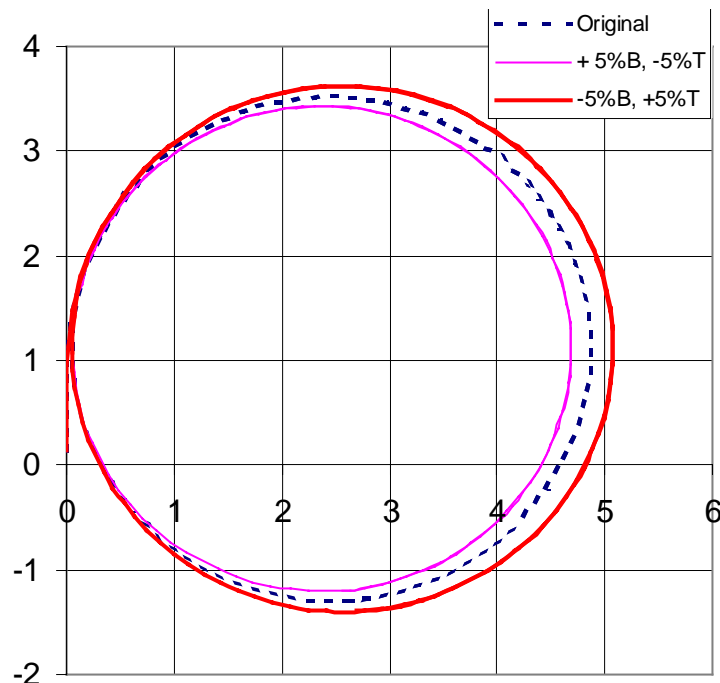


Fig. 5.2 Efecto de la manga y el calado en la maniobra de giro

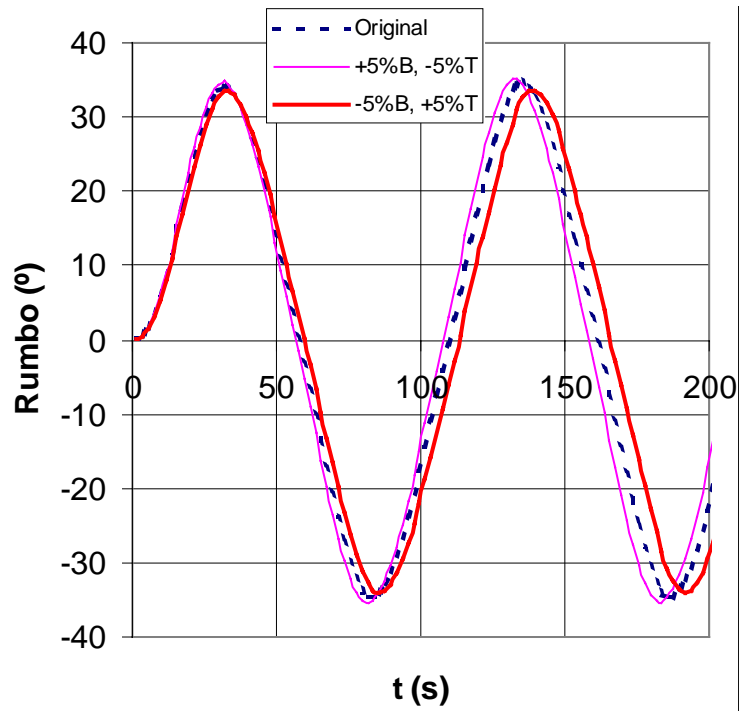


Fig. 5.3 Efecto de la manga y el calado en la maniobra de Zig-Zag 20

5.2 Efecto de la posición del centro de carena

De las figuras 5.4 y 5.5 se ve que el desplazamiento de la posición del centro de carena hacia proa tiene un efecto positivo en la maniobra de giro (Fig. 5.4) mientras que el efecto sobre la maniobra de Zig-Zag 20 es pequeño.

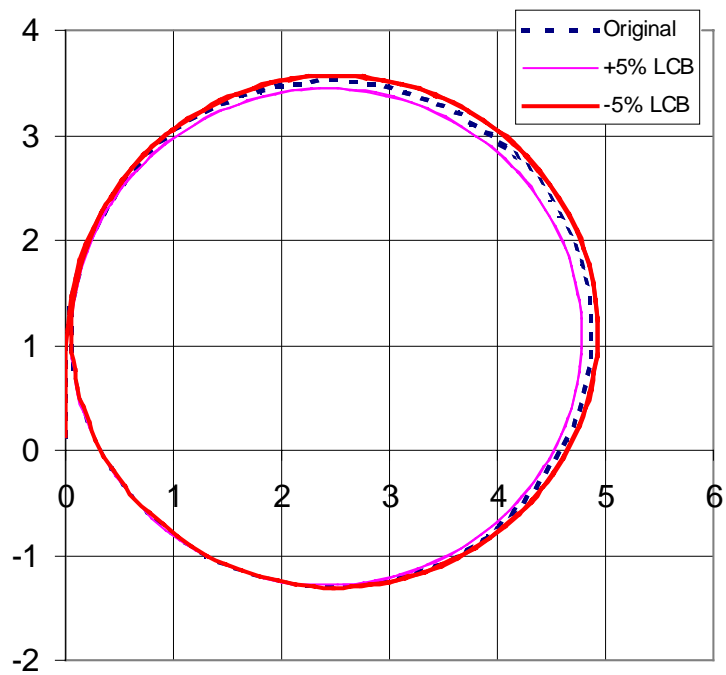


Fig. 5.4 Efecto de la posición del centro de carena en la maniobra de giro

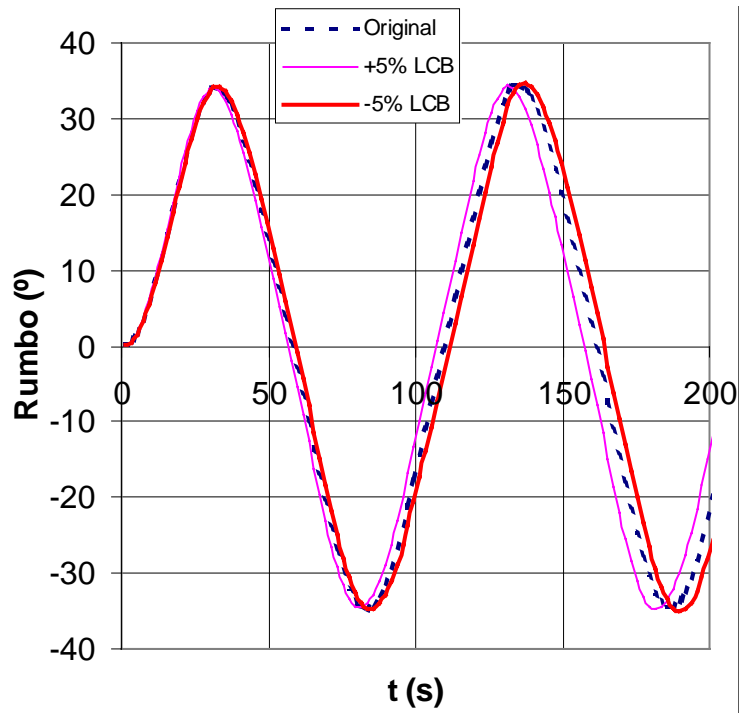


Fig. 5.5 Efecto de la posición del centro de carena en la maniobra de Zig-Zag 20

5.3 Efecto del área del timón

De las figuras 5.6 y 5.7 se ve la lógica mejora que el aumento del área del timón tiene sobre la maniobra de giro y la poca importancia que tiene en la maniobra de zig-zag 20. El giro empeora de forma importante al reducir el área del timón.

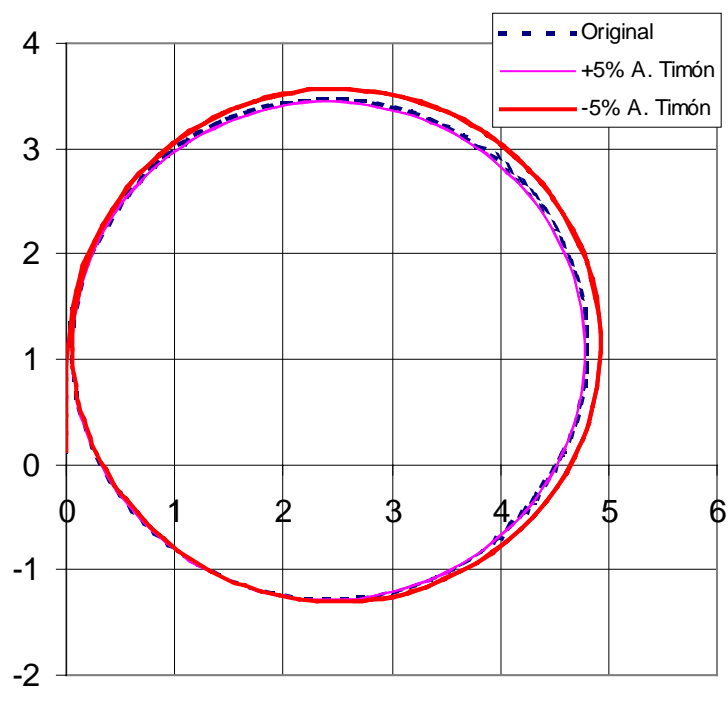


Fig. 5.6 Efecto del área del timón en la maniobra de giro

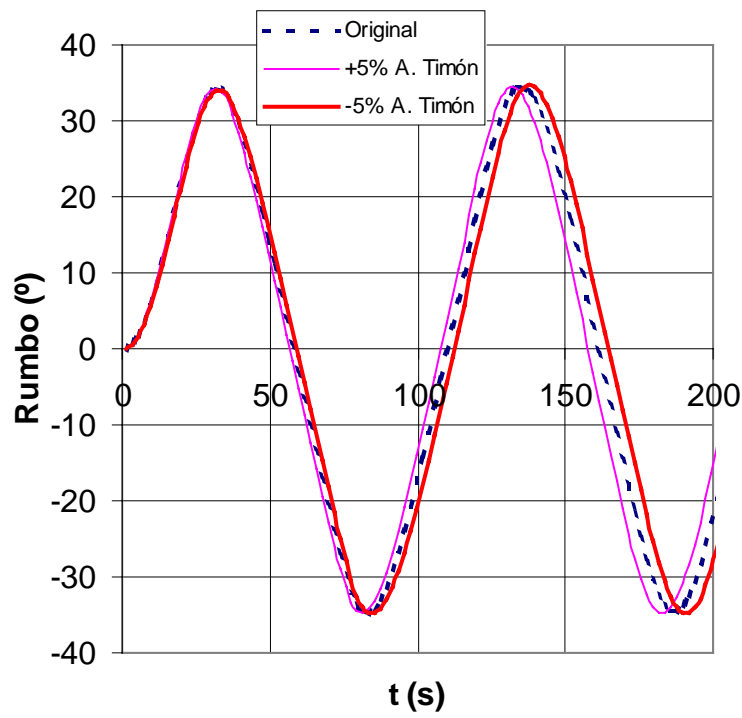


Fig. 5.6 Efecto del área del timón en la maniobra de Zig-Zag 20

5.4 Efecto global de las variaciones

El efecto de las variaciones sobre algunos parámetros globales de las maniobras como son el avance, diámetro de giro (ambos en esloras del buque) y ángulo de rebasamiento (grados) de la maniobra de Zig-Zag 20 se recoge en la siguiente tabla:

	Original	+5%B, -5%T	+5%T, -5%B	+5% LCB	-5% LCB	+5% A. Timón	-5% A. Timón
Avance	3.44	3.35	3.56	3.37	3.50	3.39	3.49
D. Giro	4.80	4.61	5.01	4.71	4.85	4.73	4.86
Rebasamiento	14.10	14.80	13.50	14.20	14.20	14.20	14.00

Se ve que el efecto sobre el Zig-Zag es pequeño y que las mayores mejoras en la maniobra de giro se producen al disminuir el calado y aumentar la manga y desplazando el centro de carena a proa, a parte de la obvia mejora de aumentar el área del timón. El aumento del área del timón lleva consigo un aumento de potencia del sistema de gobierno pues a mayor área se necesita ejercer mayor par en la mecha del timón para conseguir mover el timón.

5.5 Variación múltiple de parámetros

La mejora de la maniobrabilidad puede aumentarse si se varían múltiples parámetros a la vez. En este caso, si se recurre a aumentar la manga, disminuir el calado y desplazar a proa el centro de carena, todo un 5%, la mejora obtenida en la maniobra de giro se recoge en la figura 5.7

Los parámetros globales de la maniobra son un avance de 3.29 esloras frente a las 3.44 del buque original (mejora del 4.4%) y un diámetro de giro de 4.54 esloras frente al original de 4.8 esloras (mejora del 5.4%).

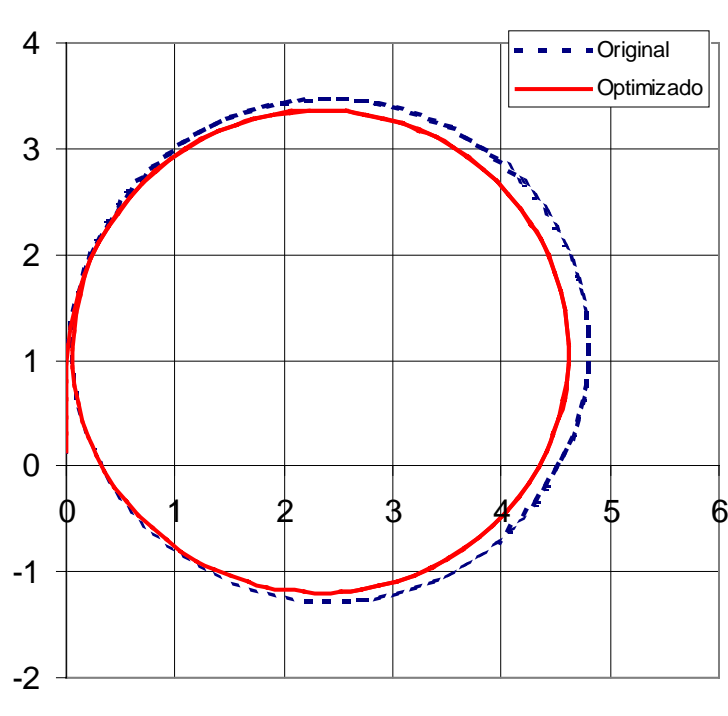


Fig. 5.7 Optimización de la maniobra de giro

6. CONCLUSIONES

- La maniobrabilidad es un factor a tener en cuenta en la explotación del buque debido a la mejora de la seguridad de operación, operatividad y ahorro de combustible que se consiguen con una adecuada maniobrabilidad.
- La maniobrabilidad puede estudiarse en etapas de anteproyecto del buque y ver si el buque cumplirá con los requerimientos de maniobrabilidad impuestos. Esto puede hacerse numéricamente o bien a partir de ensayos.
- Pequeñas variaciones de algunos parámetros globales del buque conllevan mejoras en la maniobrabilidad. Así por ejemplo favorece la maniobrabilidad manteniendo el desplazamiento del buque un aumento de la manga, una disminución del calado, desplazar el centro de carena a proa y lógicamente aumentar el área del timón.
- Se puede mejorar la maniobrabilidad jugando con múltiples parámetros al mismo tiempo, lográndose un mayor efecto que al variar los parámetros individualmente.

