

Estudio numérico para la estimación de los coeficientes hidrodinámicos de arrastre de corriente en maniobras de asistencia en puerto (muelle) para las fragatas de la Armada Colombiana mediante CFD.

Mauricio García Navarro
Luis Leal Ruiz
Bharat Verma
TN Nicolás Ruiz Buendía

Tabla de contenido

01

INTRODUCCIÓN

¿Qué es Bollard
Pull? (BP)

02

CONDICIONES AMBIENTALES

Características de la
zona

03

ESTIMACIÓN DE BP

Método Clásicos
Métodos Analíticos

04

CASO DE ESTUDIO

Características generales
de la embarcación a
analizar

Tabla de contenido

05

METODOLOGÍA

- Descripción
- Cálculo de componentes

06

ANÁLISIS CFD

- Configuración del modelo.
- Análisis de resultados.

08

CONCLUSIONES

INTRODUCCIÓN

Busca es la obtención de los coeficiente de arrastre de un buque tipo fragata para la estimación del Bollard Pull requerido para ofrecer la asistencia a las maniobras de atraque y zarpe en el muelle de la Base Naval ARC Bahía Málaga



BOLLAR PULL (BP)

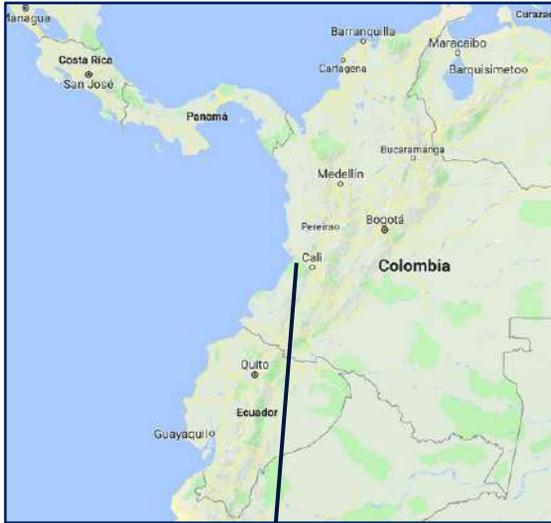
Representa la capacidad o fuerza de remolque disponible de un buque suponiendo una velocidad respecto a tierra de 0.

Bollard Pull aprobado: Fuerza registrada prome minutos a 100% MCR- valido por 10 años.*



La estimación del Bollard Pull es necesaria para determinar la capacidad que debe tener un remolcador para desarrollar su operación de remolque.

Condiciones Ambientales



Condiciones Ambientales



- Profundidad entre 6 m a 10 m, las corrientes máximas a un nivel de 8 metros de profundidad.
- El sector D experimenta las corrientes más fuertes, de hasta 1 nudo
- Velocidades regulares del viento en la zona alcanzan entre 7 y 12 nudos, ráfagas de 18 nudos.
- La maniobra más compleja se presenta con la clase de fragata Almirante Padilla.
- Influencia del oleaje moderado.

ESTIMACIÓN DE BP

El desarrollo de cálculo de BP requerido en para maniobras en puerto se utilizan formulaciones semiempíricas y tablas guías designadas por la autoridades locales.

BP REQUERIDO

Tugs and Tows – A Practical Safety and Operational Guide.

Tablas guías de autoridades locales

$$BP = \left\{ \frac{\Delta \times V^2 + (0.06 B \times D)}{120 \times 60} \right\} \times K$$

BP = required bollard pull (tonnes)

Δ = full displacement of towed vessel (tonnes)

V = tow speed (knots)

B = breadth of towed vessel (metres)

D = depth of the exposed transverse section of the towed vessel including deck cargo, measured above the waterline (metres)

K = a factor that reflects potential weather and sea conditions:

- for exposed coastal tows K = 1.0 to 3.0
- for sheltered coastal tows K = 0.75 to 2.0
- for protected water tows K = 0.5 to 1.5

RESOLUCIÓN NÚMERO (0849-2019)

PUERTO DE BUENAVENTURA

BUQUE / ESIORA	RO - RO		RO - RO CON PROPULSOR TRANSVERSAL		GRANELERO		GRANELERO CON PROPULSOR TRANSVERSAL		TANQUERO		TANQUERO CON PROPULSOR TRANSVERSAL		CONTAINERO		CONTAINERO CON PROPULSOR TRANSVERSAL	
	BP	NMR	BP	NMR	BP	NMR	BP	NMR	BP	NMR	BP	NMR	BP	NMR	BP	NMR
E ≤ 80	9	1	8	1	11	1	9	1	7	1	6	1	7	1	6	1
> 80 ≤ 90	14	1	12	1	13	1	11	1	11	1	9	1	10	1	9	1
> 90 ≤ 100	18	1	15	1	16	1	14	1	15	1	12	1	13	1	11	1
> 100 ≤ 110	23	1	20	1	19	1	16	1	18	1	16	1	16	1	14	1
> 110 ≤ 120	28	1	24	1	22	1	19	1	20	1	20	1	19	1	16	1
> 120 ≤ 130	31	1	26	1	24	1	20	1	26	1	22	1	22	1	19	1
> 130 ≤ 140	34	1	29	1	27	1	22	1	30	1	25	1	25	1	21	1
> 140 ≤ 150	42	1	37	1	32	1	26	1	42	1	32	1	32	1	26	1

Amplios márgenes de seguridad

BP DE REMOLQUE

Los cálculos requeridos para remolque de objetos flotantes a largas distancias.

DNV-RP-H103 MODELLING AND ANALYSIS OF MARINE OPERATIONS

Fuerza de la corriente

$$F_C = \frac{0,5 \cdot C \cdot \rho \cdot V^2 \cdot A}{g}$$



Fuerza del viento

$$F_w = \frac{0,5 \cdot C_s \cdot C_h \cdot \rho \cdot V^2 \cdot A}{g}$$

Fuerza de las olas

$$F_{wd} = \frac{1}{8} \cdot \rho \cdot R^2 \cdot B \cdot Hs^2 \cdot$$

$$F_{TBP} \geq \sum f_{ext}$$



CLASE ALM. PADILLA



Caso de Estudio

Desplazamiento (Toneladas)	2100
LOA(m)	95.3
LPP(m)	90
Calado (m)	3,8
Manga	6,4
Puntal	11,3



Metodología

CÁLCULO DE FUERZAS TRANSVERSALES

1- Características del buque que requiere asistencia en las maniobras de atraque.

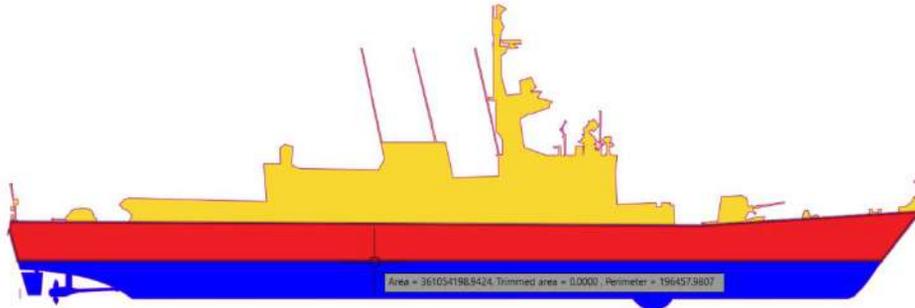
2- Recopilación de variables ambientales locales en el lugar de estudio

- Velocidades y direcciones de la corriente
- Velocidades y direcciones del viento
- Altura significativa de las olas.
- Profundidad en el puerto.

3- Considerar el caso más extremo como requisito máximo.

Cálculo de componentes

FUERZA DEL VIENTO



$$F_{YW} = 0.5 C_{YW} \rho V^2 A_L \text{ (Newtons)}$$

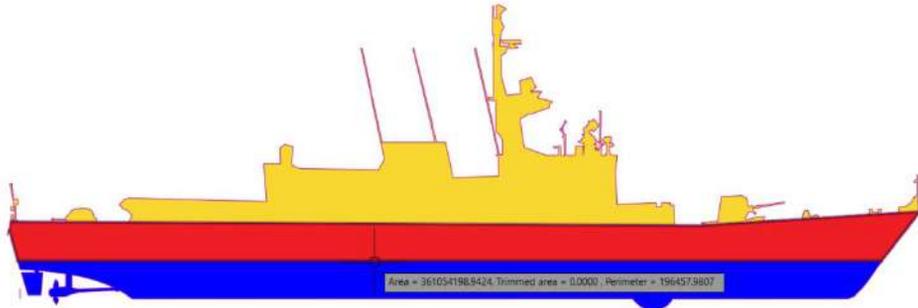
$$C_{yw} = \frac{c \left[\left(0,5 \cdot \frac{(h_s + h_h)}{h_r} \right)^{\frac{2}{7}} A_s + \left(0,5 \frac{h_h}{h_r} \right)^{\frac{2}{7}} A_h \right]}{A_y}$$

*UFC 4-159-03 United Facilities
Criteria "Mooring. Department
of Defense

FUERZA DEL VIENTO	
V1 Velocidad del viento (m/s)	9,2592
ρ_1 densidad del aire (Kg/m ³)	1,28
AL área expuesta al viento (m ²)	727
Cyw coeficiente de arrastre por viento	0,809

Cálculo de componentes

FUERZA DE LA CORRIENTE



$$F_{YC} = 0.5 C_{YC} \rho V^2 A_L \text{ (Newtons)}$$

$$C_{yc} = C_0 + (C_1 - C_0) \left(\frac{T}{d}\right)^K$$

$$C_0 = 0.22 * \sqrt{\chi}$$

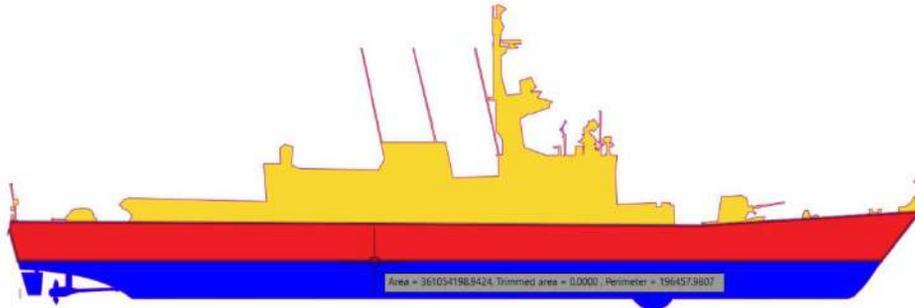
$$\chi = L_{wL}^2 * \frac{A_m}{(B * V)}$$

Cyc	1,29
X	11,24
C ₀	0,737
C ₁	3,2
A _m	32,2
C _m	0,748
B (m)	11,3
T (m)	3,8
d (m)	8
K	2

*UFC 4-159-03 United Facilities Criteria
"Mooring. Department of Defense

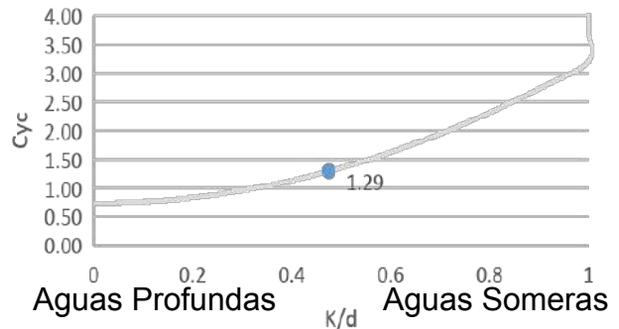
Cálculo de componentes

FUERZA DE LA CORRIENTE



$$F_{YC} = 0.5 C_{YC} \rho V^2 A_L \text{ (Newtons)}$$

CURRENT FORCE	
V2 Velocidad de la corriente (m/s)	0,51444
ρ Densidad del agua (Kg/m ³)	1025
Cyw *	1,293
D calada (m)	3,8
h profundidad en puerto (m)	8
Profundidad desde quilla (m)	4,2



*UFC 4-159-03 United Facilities Criteria
"Mooring". Department of Defense

K = dimensionless exponent; laboratory data from ship models shows:

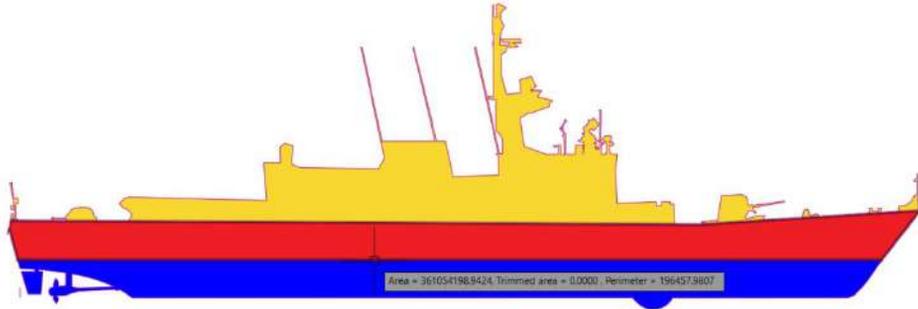
K = 2 Wide range of ship and barge tests; most all of the physical model data available can be fit with this coefficient, including submarines

K = 3 from a small number of tests on a fixed cargo ship and for a small number of tests on an old aircraft carrier, CVE 55

K = 5 from a small number of tests on an old submarine hull, SS 212

Cálculo de componentes

FUERZAS INERCIALES



$$(1) F_{inertia} = (M\delta_{ij} + A_{ij})\ddot{X}_j$$

$$(2) F_{inertia} = \frac{0,09 D V^2}{S}$$

La ecuación 2 tiene en cuenta el efecto de las fuerzas de inercia, así como el efecto de las interacciones con un muelle abierto

1-DNV-RP-H103 MODELLING AND ANALYSIS OF MARINE OPERATIONS
2-UG USE IN PORT: A PRACTICAL GUIDE
Book by Henk Hensen

INERTIAL FORCE	
Desplazamiento (TON)	2100
S Distancia de frenado (m)	18
V velocidad inicial (m/s)	0,2572

Coeficiente C_y - CFD

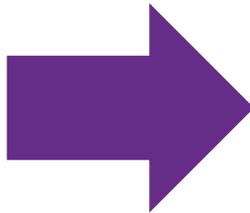
El arrastre de la corriente es la magnitud más representativa de la suma de las fuerzas que actúan sobre el buque, por lo que se presenta un análisis mediante el uso de CFD.

$$C_y = \frac{F_y}{\frac{1}{2} \rho_w U_{ref}^2 L_{ref} T}$$

$$F_n = \frac{U_{ref}}{\sqrt{g} L_{ref}}$$

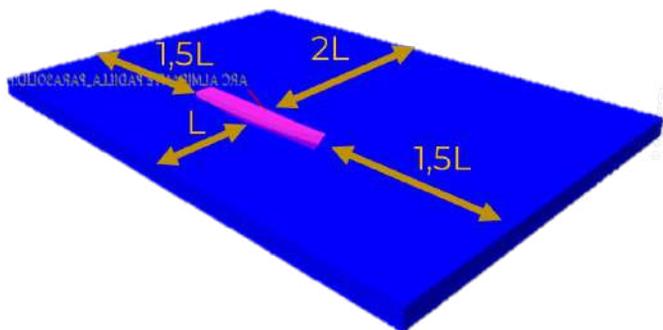
$$R_n = \frac{U_{ref} L_{ref}}{\nu}$$

Se aplican las recomendaciones del modelo a escala CFD usando las recomendaciones del ITTC 7,5-03-02-04



Escala	12.03
	7.481 m
	0.94 m
	0.316 m
Desplazamiento	0.924 Tonnes
	0.1483 m/s
	1.102×10^6
Banda ITTC Reynolds	$10^6 - 10^7$
	$1,173 \times 10^{-2}$

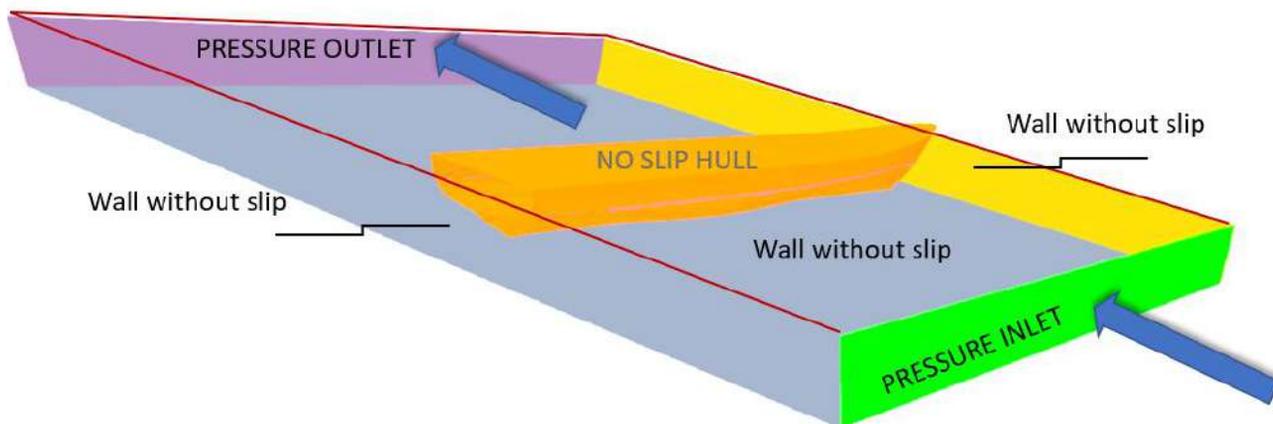
Condiciones de frontera



Frigate Class "Almirante Padilla"

Desplazamiento (T)	2100
L_{OA} (m)	95.3
L_{PP} (m)	90.0
Beam(m)	11.3
Calado (m)	3.8
Corriente (knots)	1.0
Area sumergida proyectada (m ²)	329
Profundidad(m)	8.0

La configuración del modelo CFD puede seguir los ajustes definidos en las publicaciones presentadas por LIP [1] y MADINI [2]

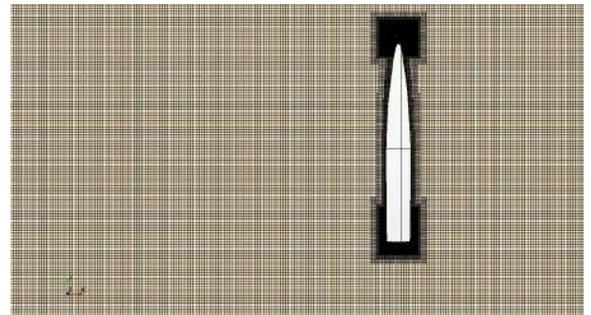
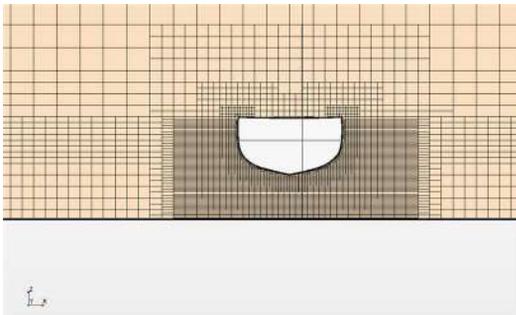
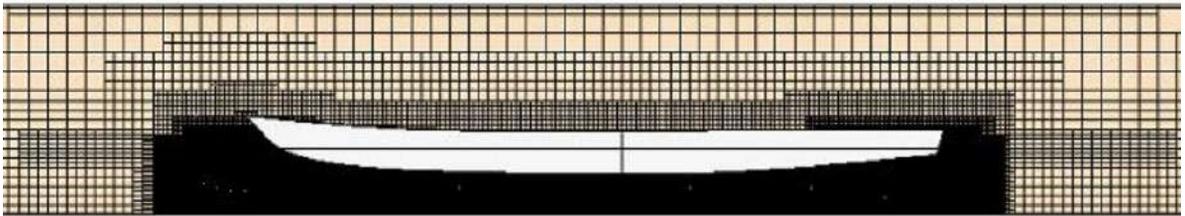


- 1-E. A.J. Vroegrijk, OCIMF, "CFD current drag" Lloyds Register, Technical Investigation Department, 2017.
- 2- A. Koop, "Shallow water current loads on a LNG carrier using CFD" Proceedings of the ASME 2015 34th International Conference on Ocean.

Configuración del mallado

Se aplican múltiples zonas de refinamiento para captar los diferentes efectos de la corriente en el casco.

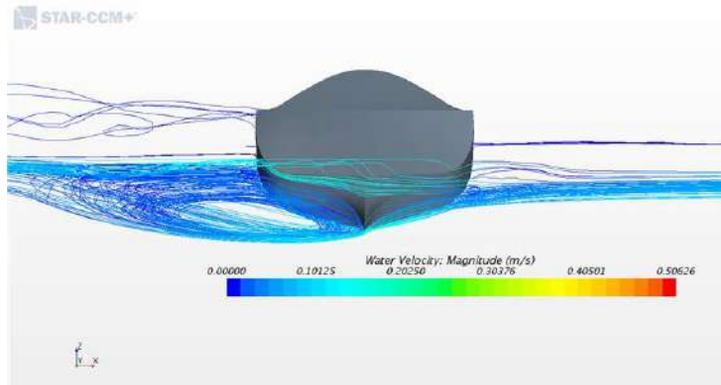
Modelo K-Epsilon + SST (Shear Stress Transport) disponible en STAR CCM+ con un valor de $Y+30$ y un total de 10 prismas, y primera capa límite de 0.0042515 m.



Resultados numéricos

Simulation	Cells (Millions)	Cy CFD	Simulation time (s)	% Results difference
1	3,4	2,08	62	----
2	4,5	1,68	109	23.8
3	21,67	1,55	137.9	8.38

El valor calculado es la media de los últimos 50 segundos una vez que el resultado de la simulación ha alcanzado una condición de estabilidad.

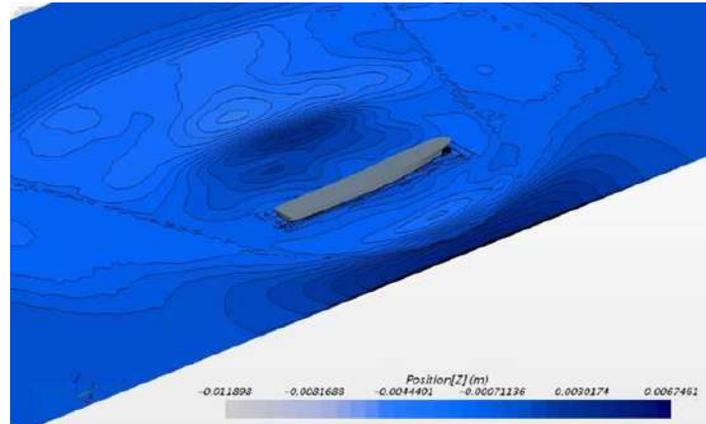
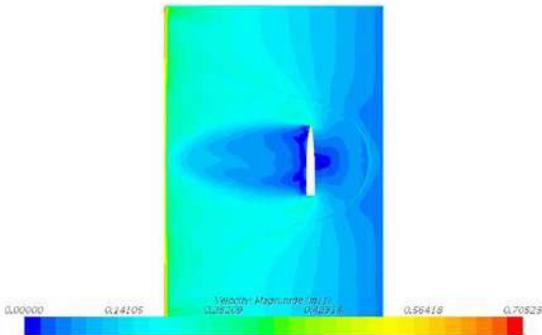


Zona de alta vorticidad, agregando una fuerza de arrastre generada por el flujo de la corriente de marea, incrementando así el valor final de Cy, tal y como predicen los resultados del CFD.

Resultados numéricos



Aumento de la velocidad del flujo en el espacio entre el fondo y la quilla



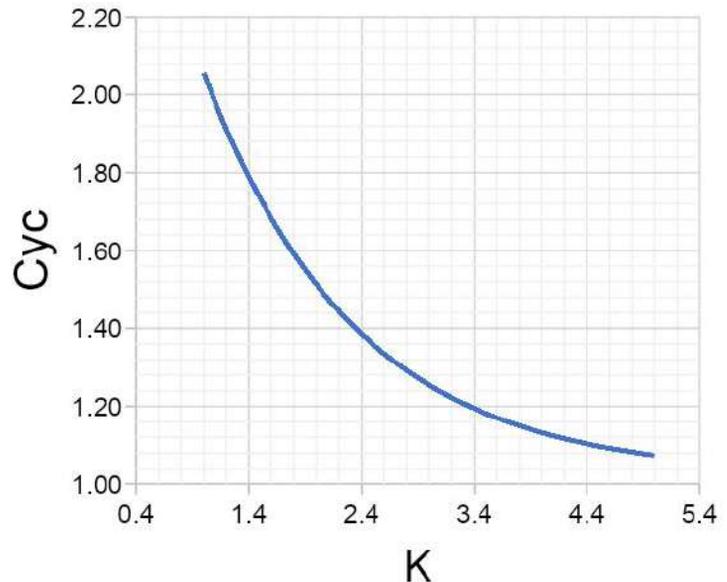
Conclusiones

- El coeficiente de arrastre de corriente calculado mediante las directrices UFC, podría subestimar las fuerzas de la corriente, siendo un análisis CFD un método más fiable para estimar este coeficiente.
- De los resultados también se puede concluir que el coeficiente C_{yc} puede variar significativamente en función de la forma del casco.

$$C_{yc} = C_0 + (C_1 - C_0) \left(\frac{T}{d}\right)^K$$

$$C_0 = 0.22 * \sqrt{\chi}$$

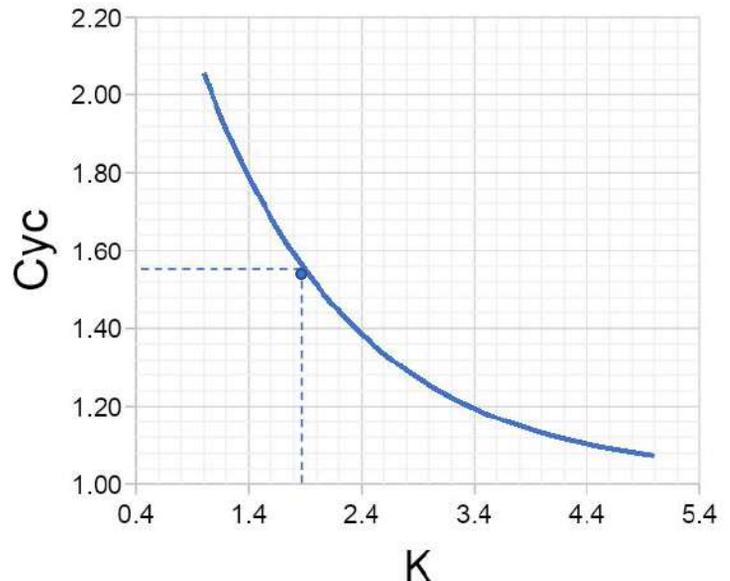
$$\chi = L_{WL}^2 * \frac{A_m}{(B * V)}$$



Conclusiones

- Teniendo en cuenta los resultados según del coeficiente C_{yc} obtenido mediante CFD, indican que el valor más propicio para K según la formulación UFC tendría un valor de 1,9.

C_{yc}	1,55
X	11,24
C_o	0,737
C_1	3,2
A_m	32,2
C_m	0,748
B (m)	11,3
T (m)	3,8
d (m)	8
K	1,9



Agradecimientos

- CALM. OSCAR DARIO TASCÓN MUÑOZ
- CN. LUIS ENRQUE ARANIBAR.
- CC. MANUEL ALEJANDRO ARIZA ZULUAGA
- CN(RA). FREDY MISAEL ZARATE PARROLLO
- JDVARN. OMAR DAVID VÁSQUEZ BERDUGO
- COTECMAR.
- GEDIN

